

Bachelorthesis zur Erlangung des FH-Diploms als Bachelor of science HES-SO in Physiotherapie
HES-SO Valais Wallis Bereich Gesundheit & Soziale Arbeit

**Zwei sensomotorische Trainingsgestaltungen im Vergleich:
Sensomotorische Übungen mit und ohne Vorermüdung
Eine randomisierte Pilotstudie**

Erarbeitet von: Jonas MENG, Alain AMACKER

Studiengang: Physiotherapie

Unter Betreuung von: Roger HILFIKER

Leukerbad, 5. Juli 2009

I. Danksagung

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit möchten wir uns bei folgenden Personen herzlich bedanken:

Herrn Roger Hilfiker der HES SO für die grossartige Hilfestellung und Unterstützung bei der Realisierung dieser Diplomarbeit.

Herrn Dr. Hans Spring, Chefarzt Rheumatologische und Neurologische Rehabilitationsklinik Leukerbad, für die zur Verfügung gestellte Infrastruktur.

Herrn Kurt Jordan, Swiss Olympic Medical Center Leukerbad, für die tatkräftige Mitarbeit bei der Umsetzung der Tests.

Herrn Nicolas Mathieu, Physiotherapeut und Lehrer, für seine konstruktiven Ratschläge und Hilfestellung bei der Durchführung der Tests.

Frau Manuela Rieder, Herrn Carmine Lepore, Herrn Sébastien Gattlen, Herrn Richard Amacker sowie Herrn Patrick Jeandupeux für ihre hilfreiche Unterstützung bei der Verwirklichung der Tests.

Frau Gabriela Etter, Frau Marlen Etter sowie Frau Ladina Perret für die Korrekturarbeit.

Herrn Jean-Pierre Egger, Herrn Sven Bruhn sowie Herrn Jay Hertel für ihre konstruktiven und hilfreichen Ratschläge.

Allen Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer für ihren grossartigen Einsatz und ihrem selbstlosen Verhalten während der Durchführung des Projekts.

II. Inhaltsverzeichnis

I. Danksagung	I
II. Inhaltsverzeichnis.....	II
III. Abbildungsverzeichnis.....	IV
IV. Tabellenverzeichnis.....	IV
V. Abstract Deutsch	V
VI. Abstract Français	VI
1. Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Hypothese.....	4
2. Theoretische Grundlagen und Forschungsstand.....	5
2.1 Krafttraining	5
2.1.1 Begriffsbestimmungen der Kraftarten	6
2.1.1.1 Maximalkraft	6
2.1.1.2 Schnellkraft.....	6
2.1.1.3 Reaktivkraft	7
2.1.2 Physiologische Grundlagen des Krafttrainings	7
2.1.3 Methoden des Krafttrainings	8
2.1.3.1 Die Antagonisten - Serie	9
2.1.3.2 Isometrische Vorermüdung	9
2.1.3.3 Plyometrie	9
2.1.3.4 Kontrastmethode	10
2.1.4 Kraft Assessments	10
2.2 Sensomotorisches Training (SMT)	12
2.2.1 Begriffsbestimmung des SMT`s	12
2.2.1.1 Sensomotorisches System.....	12
2.2.1.2 Koordination	14
2.2.1.3 Gleichgewicht.....	15
2.2.1.4 Propriozeption	16
2.2.2 Physiologische Grundlagen des SMT`s	17
2.2.3 Methoden des SMT`s	22

2.2.4	SMT Assessments.....	24
3.	Methodik	26
3.1	Design der Studie	26
3.2	Population.....	26
3.3	Trainingsintervention	27
3.4	Messmethodik und Testablauf.....	29
3.4.1	Isokinetik.....	30
3.4.2	Squat-Jump und Counter-Movement-Jump	30
3.4.3	Star Excursion Balance Test.....	31
3.4.4	Dotte-Balance-Test.....	32
3.4.5	Warm-Up	33
3.4.6	Ermüdungsprotokoll.....	33
3.5	Tester.....	33
3.6	Statistische Analyse.....	34
3.6.1	Berechnung Stichprobengrösse.....	34
3.7	Ethik	34
4.	Fragestellung	35
4.1	Detaillierte Fragestellung	35
5.	Ergebnisse	37
5.1	Ergebnisse Gleichgewichtsfähigkeit	37
5.1.1	SEBT Airex	37
5.1.2	Dotte-Balance-Test.....	37
5.2	Ergebnisse Counter-Movement-Jump	38
5.3	Einfluss der muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit	38
5.3.1	SEBT Airex	38
5.3.2	SEBT	39
5.3.3	Dotte-Balance-Test.....	39
5.4	Einfluss der muskulären Ermüdung auf den CMJ	40
5.5	Ergebnisse Squat-Jump.....	40
5.6	Ergebnisse Isokinetik.....	41
6.	Diskussion	42
6.1	Stärken unserer Studie	43
6.2	Literatur.....	44

6.2.1	Trainingsgestaltung	44
6.2.2	Einfluss der muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit	48
6.2.3	Counter-Movement-Jump, Squat-Jump und Maximalkraft	51
6.3	Bedeutung für die Praxis	52
6.4	Bedeutung für die Forschung	53
6.5	Limitationen	54
7.	Schlussfolgerung	55
8.	Bibliographie	56
9.	Anhang	A
9.1	Einverständniserklärung	A
9.2	Studien Informationsblatt	B
9.3	Tabelle Ergebnisse	E

III. Abbildungsverzeichnis

Abb 1: Kraft-Zeit-Kurve (modifiziert nach Weineck 2007)	6
Abb 2: Isokinetisches Messgerät (Con-trex)	10
Abb 3: Sprungplatte (Kistler)	11
Abb 4: Schematische Darstellung des SMS (modifiziert nach Laube 2008)	13
Abb 5: Star Excursion Balance Test (SEBT)	24
Abb 6: Dotte Balance Test (DBT)	25
Abb 7: Therapiekreisel, Airex Matte, Minitrampolin, Slackline, Dotte-Schaukel	28
Abb 8: Verbesserung SEBT Airex	37
Abb 9: Verbesserung CMJ	38
Abb 10: Einfluss der Müdigkeit auf den SEBT	39
Abb 11: Verbesserung Squat Jump	40
Abb 12: Verbesserung Maximalkraft Knieextension	41

IV. Tabellenverzeichnis

Tab 1: Probandendaten	26
-----------------------------	----

V. Abstract Deutsch

Einleitung: Trotz der weit verbreiteten Akzeptanz des sensomotorischen Trainings, im Hinblick auf die Verletzungsprävention und die Verbesserung der sportlichen Leistung, existieren keine wissenschaftlichen Richtlinien zur Belastungsgestaltung.

Ziel: Die Untersuchung der Wirksamkeit von zwei sensomotorischen Trainingsgestaltungen auf das Gleichgewicht, die Kraft und der Einfluss einer muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichts- und Reaktivkraftfähigkeit.

Methode: Interventionsstudie mit 30 jungen und sportlichen Probanden. Die Teilnehmer wurden in 2 Gruppen randomisiert und absolvierten eine vierwöchige Trainingsintervention (9 Trainings). Gruppe A führte ein sensomotorisches Training aus, in welchem vor der sensomotorischen Übung (SMÜ) eine Vorermüdung mittels einer Kraftübung (KÜ) ausgeführt wurde (KÜ-SMÜ Alternierend). Gruppe G führte zuerst alle sensomotorischen Übungen durch und absolvierten erst anschliessend die Kraftübungen (SMÜ-KÜ Getrennt). Zur Evaluierung der beiden Trainingmethoden wurden zwei Tests (vor und nach der Trainingsintervention) durchgeführt, um das statische und dynamische Gleichgewicht, die Maximal-, Schnell-, und Reaktivkraft, sowie der Einfluss einer muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichts- und Reaktivkraftfähigkeit zu evaluieren.

Resultate: Identisch statistisch signifikante ($p < 0.05$) Verbesserung der beiden Gruppen in der Maximalkraft und der statischen und dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit. Bei der Schnell- und Reaktivkraft konnte sich nur Gruppe A statistisch signifikant ($p < 0.05$) verbessern. Gruppe A zeigte eine Tendenz den negativen Einfluss der muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit und die Reaktivkraft reduzieren zu können, im Gegensatz zu Gruppe G. Der Gruppenunterschied ist aber statistisch nicht signifikant.

Schlussfolgerung: Anhand der gefundenen Resultaten, kann die Trainingsintervention „KÜ-SMÜ Alternierend“, unter Berücksichtigung der Bewegungsqualität, bei jungen, gesunden und sportlichen Leuten, vorgezogen werden. Sie ist in der Prävention von Verletzungen vermutlich effizienter. Weitere Forschungen sind notwendig, um dies zu bestätigen.

Schlüsselwörter: Sensomotorisches Training, Gleichgewicht, Muskuläre Vorermüdung, Kraft.

VI. Abstract Français

Introduction: Malgré les vertus reconnues de l'entraînement sensorimoteur sur la prévention des blessures ainsi que sur l'amélioration des performances sportives, il n'existe actuellement aucune directives scientifiques sur les modalités d'intensité de cet entraînement.

But : Rechercher les effets de deux différents programmes d'entraînement sensorimoteur sur l'équilibre, la force et l'influence d'une fatigue musculaire sur les facultés d'équilibre et de force réactive.

Méthode : Etude incluant 30 personnes jeunes et sportives randomisées dans 2 groupes ; le premier (groupe **A**) réalisant un entraînement sensorimoteur de 4 semaines (9 séances), où chaque exercice sensorimoteur (SMÜ) est précédé d'un exercice de force (KÜ) servant de préfatigue musculaire (KÜ-SMÜ Alternierend), alors que le deuxième (groupe **G**) effectue un entraînement où tous les exercices sensorimoteurs précèdent les exercices de force (SMÜ-KÜ Getrennt). Deux tests physiques (pré- et post-entraînement) ont été réalisés afin de mesurer la force maximale, la force-vitesse, la force-réactive, l'équilibre ainsi que l'influence d'une fatigue musculaire sur l'équilibre et la force-réactive.

Résultats : Amélioration significative ($p < 0.05$) identique entre les deux groupes quant à la force maximale et l'équilibre statique et dynamique. Seul le groupe A a progressé significativement ($p < 0.05$) en force-vitesse et force-réactive. Le groupe A, contrairement au groupe G, montre une tendance à diminuer l'effet négatif de la fatigue musculaire sur l'équilibre et la force-réactive, la différence n'étant pas significative.

Conclusions : Les résultats démontrent qu'un entraînement « KÜ-SMÜ Alterné », en tenant compte de la qualité de mouvement, est préférable pour une population jeune et sportive. Il est probablement plus efficace dans la prévention des blessures, de futures recherches étant nécessaires afin de le confirmer.

Mots-clés : Entraînement sensorimoteur, Equilibre, Préfatigue musculaire, Force.

1. Einleitung

In der Trainingslehre ist seit langem bekannt, dass die notwendigen Bausteine für die Verbesserung der sportlichen Leistung, sei es bei Hobby- oder bei Leistungssportlern, Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer sind. Neuerdings wird aber auch dem sensomotorischen Training (SMT) immer mehr Bedeutung zugesprochen. Bei fast allen Athleten ist heute das SMT ein fester Bestandteil des Trainings, und spielt bei der Prävention und der Rehabilitation von Verletzungen eine wichtige Rolle. Die Rehabilitation kann gut mit einem sportlichen Training verglichen werden.

Sensomotorische Fähigkeiten erlauben einem Individuum, seine konditionellen Fähigkeiten optimal einzusetzen, das heisst, Bewegungsaktionen möglichst ökonomisch auszuführen. Wenn wir den menschliche Körper mit einem Auto vergleichen, würde der Motor die Kraft, die Schnelligkeit und die Ausdauer symbolisieren, während die situationsgerechte Benutzung des Gaspedals die Sensomotorik darstellen würde. Das sensomotorische System dient dazu, angepasste Entscheidungen für den Betrieb des Autos - oder eben des menschlichen Körpers, zu treffen. So kommt die Koordination nicht ohne die Kondition aus und die Kondition nicht ohne die Koordination und das bei jeder einzelnen Bewegung. Zur Optimierung des Trainings und der Leistung ist es wichtig, diese gegenseitige Abhängigkeit zu verstehen.

Um eine höhere Leistung zu erzielen, ist die Optimierung eines Trainingsprozesses, vor allem bei Hochleistungssportlern und Trainern, von grossem Interesse. Aber natürlich ist die Optimierung einer Therapiesitzung auch für den Physiotherapeuten absolut essentiell und zugleich eine interessante und anspruchsvolle Herausforderung.

1.1 Problemstellung

Die Trainingsgestaltung von SMT ist zurzeit nur auf Erfahrungswerten basiert (Bruhn 2003, Brand 2007, Laube 2008). Es gibt im Gegensatz zum Ausdauer-, Schnellkraft- oder Maximalkrafttraining keine wissenschaftlichen Richtwerte für die Belastungsparameter, wie Dauer und Intensität (Bruhn, 2003, Brand 2007, Chwilkowski 2006, Laube 2008). Nach Laube 2008 kann die Belastung des SMT's nur subjektiv über die Einschätzung der Bewegungsqualität gesteuert werden.

In den methodischen Grundsätzen des SMT's stösst man oft auf die Empfehlung, die Übungen nur im unermüdeten Zustand auszuführen (Weineck 2007, Spring 2006). Eine funktionelle und aktive Gelenkstabilisierung sollte aber auch in einem muskulär ermüdeten Zustand möglich sein, insbesondere weil das Verletzungsrisiko mit der muskulären Ermüdung zunimmt (Gribble et al., 2004 Yaggie und McGregor et al., 2002, Gioftsidou et al, 2006).

In der wissenschaftlichen Literatur wird dem Krafttraining (KT) (Weineck 2007) und vor allem dem sensomotorischen Training (SMT) eine verletzungsprophylaktische Wirkung zugeschrieben (Caraffa et al., 1996, Taube et al., 2007, Hryosomalis 2007). Es gibt nur wenige Autoren, die dem SMT die präventive Wirkung für Verletzungen der unteren Extremitäten absprechen (Söderman et al., 2000) oder beschränken (Verhagen et al., 2005).

SMT ist nicht nur effizient in der Rehabilitation und Prävention von Verletzungen, sondern erhöht auch die sportliche Leistung, insbesondere die Kraft (Maximalkraft, Schnellkraft) (Bruhn et al., 2006, Bruhn et al., 2004, Taube et al., 2007).

Für die Trainingsgestaltung der Kraft, der Schnelligkeit und der Ausdauer gibt es viele wissenschaftliche Hinweise. Im Gegensatz dazu besteht ein Mangel an Studien, die sich mit der Trainingsgestaltung von SMT auseinandersetzen.

Von diesen Tatsachen leitet sich unsere Forschungsarbeit ab.

1.2 Zielsetzung

Gegenstand der Studie ist, zwei verschiedene Belastungsformen innerhalb des SMT's miteinander zu vergleichen. Das Ziel ist, zwei verschiedene Trainingsmodalitäten im Bereich der Sensomotorik, auf ihre Effizienz in der Verbesserung des Gleichgewichts und der Kraft, bei jungen, aktiven und sportlichen Leuten, miteinander zu vergleichen und der Einfluss einer muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit und die Reaktivkraft in den beiden Gruppen zu vergleichen.

Zur Klärung dieser Frage wurde eine Interventionsstudie mit 30 Probanden durchgeführt. 15 Probanden führten ein Training aus, in welchem auf eine Kraftübung (KÜ) sofort eine sensomotorische Übung (SMÜ) folgte. Es wurde also abwechselungsweise eine Kraftübung und eine sensomotorische Übung ausgeführt. Die Kraftübungen dienten somit gleichzeitig auch als Vorermüdung für die sensomotorischen Übungen. Die andere Hälfte der Probanden führte ein Training aus, in welchem zuerst alle sensomotorische Übungen absolviert wurden und erst anschliessend die Kraftübungen.

Wir begründen unsere Studie wie folgt:

Das Verletzungsrisiko erhöht sich in ermüdetem Zustand. Es ist deshalb wichtig, ein Gelenk auch im muskulär ermüdeten Zustand funktionell und aktiv stabilisieren zu können. Unserer Meinung nach, ist es somit sinnvoll, auch im ermüdeten Zustand zu trainieren, nach dem einfachen Grundsatz: Man kann nur das, was man trainiert hat. Zu Bemerken ist hier, dass wir nicht neue Bewegungskontrollmuster erlernen wollen, sondern bestehende Muster vertiefen und unter erschwerten Bedingungen trainieren möchten.

Aus den Ergebnissen werden schlussendlich Empfehlungen für Anwendungen in der trainingstherapeutischen Praxis, der Rehabilitation, sowie für das verletzungspräventive und sportliche Training getroffen.

Um die Begründung und die Frage nach der Effizienz dieser beiden Trainingsmodalitäten zu beantworten, werden im anschliessenden Kapitel zunächst

einige theoretische Aspekte behandelt. Dabei handelt es sich um Grundlagen, die für das Verständnis dieser Studie notwendig sind.

Im Kapitel Methodik wird der ganze Studienablauf, die Trainingsintervention und die Messmethodik erörtert. Die detaillierten Fragestellungen werden im vierten Kapitel behandelt. Die Ergebnisse werden im Kapitel 5 zusammengefasst und im Kapitel 6 diskutiert. Die Schlussfolgerung finden sie im Kapitel 7.

1.3 Hypothese

Die Hypothese unserer Studie ist, dass ein Training, in welchem auf die Kraftübung sofort eine sensomotorische Übung folgt, effizienter ist im Hinblick auf die Verbesserung des Gleichgewichts und der Reaktivkraft (Counter-Movement-Jumps), als ein Training, in welchem zuerst sensomotorische Übungen durchgeführt werden und erst anschliessend die Kraftübungen. Wir erwarten zudem, dass sich bei dem alternierenden Sensomotorik Training der Einfluss der muskulären Ermüdung weniger stark auf die Gleichgewichtsfähigkeit und die Reaktivkraft (Counter-Movement-Jump) auswirkt. Bei der Schnellkraft (Squat-Jump) und der Maximalkraft (Isokinetik) erwarten wir in beiden Gruppen eine identische Verbesserung.

2. Theoretische Grundlagen und Forschungsstand

Die Abgrenzung von Krafttraining (KT) und sensomotorischem Training (SMT) ist nicht ganz unproblematisch. Nach Weineck 2008 lassen sich die motorischen Hauptbeanspruchungsformen, Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer, Beweglichkeit und koordinative Fähigkeiten, welche Voraussetzungen sind für das Erlernen und Realisieren von körperlichen Leistungen, in konditionelle und koordinative Fähigkeiten unterteilen. Die konditionellen Eigenschaften lassen sich vor allem durch energetische Prozesse realisieren, während die koordinativen Fähigkeiten überwiegend durch zentralnervöse Steuer- und Regelungsprozesse zu Stande kommen. Diese Einteilung dient allerdings nur der Vereinfachung, denn keine Fähigkeit besteht ausschliesslich aus energetischen oder zentralnervösen Steuer- und Regelungsprozessen. Es liegt höchstens ein Überwiegen des einen oder andern vor.

Ausdauer und Kraft sind ohne Koordination nicht denkbar. Auf der anderen Seite ist aber auch die Koordination nicht ohne eine Mindestfähigkeit an Ausdauer und Kraft möglich (Laube 2008).

2.1 Krafttraining

In unserer Studie konzentrierten wir uns hauptsächlich auf die ausgeglichene Kräftigung der Quadriceps- und ischiocruralen Muskulatur (Agonist/Antagonist im Wechsel), zunächst mit dem Ziel der Verbesserung der intramuskulären Koordination und in einer zweiten Phase auch der Verbesserung der intermuskulären Koordination mittels Sprüngen. Wir trainierten verschiedene Kraftformen zusammen mit dem Ziel, eine breite Kraftbasis zu schaffen um die Maximalkraft, Schnellkraft und Reaktivkraft gleichzeitig zu entwickeln.

2.1.1 Begriffsbestimmungen der Kraftarten

Weineck 2007 unterteilt die Kraft in vier Hauptformen: Die Maximalkraft, die Schnellkraft, die Reaktivkraft und die Kraftausdauer. In unterschiedlichen Sportarten treffen wir meistens auf eine Kombination der verschiedenen Kraftarten. Oft dominiert eine Kraftart, aber sie tritt niemals in ihrer abstrakten „Reinform“ auf.

2.1.1.1 Maximalkraft

Die Maximalkraft ist die höchstmögliche willkürliche Kraft, die das Nerv-Muskelsystem bei maximaler Kontraktion ausüben vermag. Sie ist abhängig vom Muskelquerschnitt und von der intramuskulären und intermuskulären Koordination. Ihre Verbesserung erreicht man über jeden dieser drei Komponenten.

Maximale konzentrische Kraftwerte liegen etwa 5% bis 20% unter den isometrischen Maximalkraftwerten und die isometrischen - liegen wiederum bis zu 45% unter den exzentrischen Maximalkraftwerten.

2.1.1.2 Schnellkraft

Die Schnellkraft beinhaltet die Fähigkeit des Nerv-Muskelsystems, den Körper, Teile des Körpers, oder Gegenstände mit maximaler Geschwindigkeit zu bewegen. Die Schnellkraft kann gut in einer Kraft-Zeit-Kurve dargestellt werden. Die ersten 30ms zeigen die Startkraft, der steilste Anstieg der Kraftkurve stellt die Explosivkraft dar und die Schnellkraft zeichnet sich durch den Kraftanstieg bis zum Erreichen des Kraftmaximums aus. Die Schnellkraft ist also abhängig von Start-, Explosiv- und Maximalkraft.

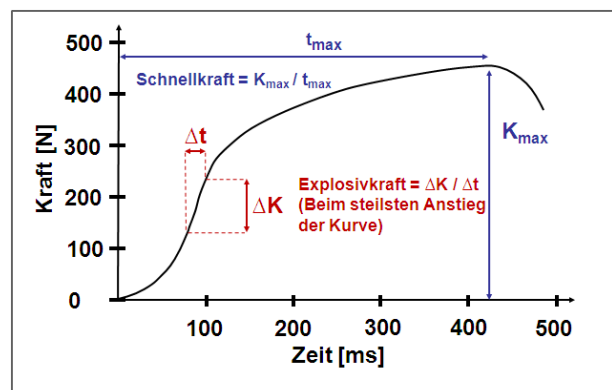


Abb 1: Kraft-Zeit-Kurve (modifiziert nach Weineck 2007)

2.1.1.3 Reaktivkraft

Die Reaktivkraft wird wegen neuraler und mechanischer Besonderheiten gegenüber der Schnellkraft als relativ eigenständige Erscheinungsform der Kraft betrachtet. Die Reaktivkraft zeichnet sich durch die Fähigkeit aus, aus einer exzentrischen Bewegung heraus, in kürzester Zeit einen möglichst hohen konzentrischen Kraftstoss realisieren zu können. Die Reaktivkraft generiert innerhalb und dank des Dehnungs-Verkürzungszyklus (DVZ) eine erhöhte Kraft. Der lange DVZ spielt bei allen Sprüngen mit geringer horizontaler Geschwindigkeit und starker Kniebeugung eine wichtige Rolle. Es geht darum, in der exzentrischen Dehnung (Ausholbewegung beim Sprung; zum Beispiel beim Basket- oder Volleyball) möglichst viel Energie speichern zu können, um diese dann bei der konzentrischen Absprungbewegung freizusetzen. Der kurze DVZ kommt zum Beispiel in der Stützphase des Sprinters oder beim Kugelstösser beim Wurf vor.

Die Reaktivkraft ist abhängig von morphologisch-physiologischen Faktoren, wie Gewicht, Grösse, Muskelmasse, willkürliche Aktivierungsfähigkeit, muskuläre Stiffness (Tonus), Muskelfaserzusammensetzung, Maximal- und Schnellkraft. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die inter- und intramuskuläre Koordination. Schliesslich spielen auch die motivationalen Faktoren wie Leistungsbereitschaft, Willensstärke und Konzentration eine wichtige Rolle.

2.1.2 Physiologische Grundlagen des Krafttrainings

Infolge von Krafttraining kommt es zuerst immer zu einer neuralen Adaptation (Folland et al. 2007, Carroll et al. 2001). Da es erst nach 8-12 Wochen regelmässigem Krafttraining zu morphologischen Änderungen der Muskulatur kommt, muss der Kraftzuwachs in den ersten Trainingswochen immer den neuralen Adaptationen zugeordnet werden (Folland et al. 2007).

Der neuralen Adaptation liegt der sensomotorische Lernprozess zugrunde. Lernen bedeutet Anpassung des Gehirns an eine wiederholt geforderte Funktion. Die Neuroplastizität ist die Grundlage für das Erlernen. Hinter der Neuroplastizität stehen

beanspruchungsabhängige biochemische und mikrostrukturelle Veränderungen des Gehirns (Laube 2008).

Folland et al., 2007 zitiert Studien, welche ebenfalls von kortikalen Veränderungen infolge von Krafttraining sprechen. Durch die neurale Adaptation kommt es einerseits zu einer erhöhten Entladungsrate der motorischen Einheiten und andererseits zu einer fortschreitenden Rekrutierung von motorischen Einheiten (Intramuskuläre Koordination) (Gabriel et al., 2006, Folland et al., 2007). Das Krafttraining bewirkt somit auf der efferenten Seite eine verbesserte Rekrutierung und eine höherfrequente Innervation der motorischen Einheiten und bringt dadurch einen erhöhten mechanischen Wirkungsgrad mit sich (Carroll et al., 2001). Oft wird in diesem Zusammenhang auch von einer verbesserten intra- und intermuskulären Koordination gesprochen. Die intermuskuläre Koordination drückt sich in einer verbesserten Zusammenarbeit einzelner Muskelgruppen aus. Dadurch kommt es zu einer effektiveren und ökonomischeren Muskularbeit. Die Muskeln werden bei einer sportlichen Bewegung belastungsadäquater innerviert (Weineck 2008). Bei zwei Trainingseinheiten pro Woche, wie wir sie in unsere Studie eingebaut haben, sind die ersten deutlichen intra- und intermuskulären Koordinationsverbesserungen nach 4-5 Wochen zu erwarten (Grosser M. et al., 1998). Erst in einer zweiten, späteren Phase des Krafttrainings kommt es zu einer peripheren Adaptation des Muskels, die so genannte Hypertrophie oder Querschnittszunahme des Muskels (Folland et al., 2007).

2.1.3 Methoden des Krafttrainings

Innerhalb des KT's gibt es unzählige Trainingsmethoden (Weineck 2008). Die Belastungsparameter für die Entwicklung der verschiedenen Kraftarten sind gut dokumentiert (Gabriel et al., 2006), wie auch die physiologischen Anpassungserscheinungen (Carroll et al., 2001).

In den folgenden Abschnitten gehen wir kurz auf die für unsere Studie relevanten Methoden ein, welche während den Traininginterventionen durchgeführt wurden.

2.1.3.1 Die Antagonisten - Serie

Bei dieser Methode wird zuerst der Agonist trainiert und unmittelbar anschliessend der Antagonist. Auf eine Übung für den M. Quadriceps folgt eine Übung für die ischiocrurale Muskulatur. Um ein Gelenk aktiv stabilisieren zu können, braucht es auch immer eine Aktivität des Antagonisten. Im Sinne der Verletzungs- und Schadensvorbeugung ist nicht nur auf die Entwicklung der Leistungsmuskulatur zu achten, sondern auch auf ihre Gegenspieler.

2.1.3.2 Isometrische Vorerrmüdung

Bei dieser Methode wird zum Beispiel die Kniebeugstellung isometrisch für 30s gehalten und anschliessend die Kraftübung ausgeführt (zb. 10 explosive Sprünge). Durch die isometrische Vorerrmüdung kommt es zu einer fortschreitenden Rekrutierung von Muskelfasern und zu einer Erhöhung der Entladungsrate der motorischen Einheiten. Somit wird durch die Vorerrmüdung bei einer anschliessenden Übung von Anfang an mit einem voll aktivierten Muskel gearbeitet und die neurale Kapazität wird ganz ausgeschöpft.

2.1.3.3 Plyometrie

In der Plyometrie werden Sprungübungen zur Entwicklung der Schnell- und Reaktivkraft ausgeführt. Die Plyometrie ist sehr effektiv für die Entwicklung der intra- und intermuskulären Koordination und führt somit zu einem raschen Kraftgewinn. Sie lässt sich durch ihre Abstufbarkeit für jedes Leistungsniveau einsetzen. Die muskuläre Voraktivierung bei plyometrischen Trainingsformen führt zu einer Sensibilisierung der Muskelspindel und somit zu einer erhöhten Stiffness der Muskulatur. Folglich erhöht plyometrisches Training auch die Stabilität der Gelenke und dient der Prophylaxe von Verletzungen.

2.1.3.4 Kontrastmethode

In der Kontrastmethode kommt es, wie es der Name schon sagt, zu gegensätzlichen Krafteinsätzen um dem Nerv-Muskel-System neue, ungewohnte und damit sehr wirksame Trainingsreize zu vermitteln. Auf 12 langsam ausgeführte, einbeinige Kniebeugen folgen zum Beispiel 12 einbeinige Sprünge.

2.1.4 Kraft Assessments

Es existieren mehrere Messinstrumente um die verschiedenen Kraftarten zu messen (Maximalkraft, Schnellkraft und Reaktivkraft). Um die Maximalkraft zu erfassen ist es möglich, die isometrische-, konzentrische- oder die exzentrische Kraft zu messen. Der am häufigsten verwendete und einfachste Test ist der „1 Repetition Maximum (1RM) Test“. Ziel dieses Tests ist es, herauszufinden, welches das maximale Gewicht ist, welches eine Person ein einziges Mal heben kann.



Abb 2: Isokinetisches Messgerät (Con-trex)

Weiter ist es auch möglich, die Maximalkraft mittels einer isokinetischen (gleich bleibende Geschwindigkeit) Messung zu bestimmen. Bei diesem Test sitzt der Proband auf einem Kraftmessstuhl. Ein dynamometrischer Arm ist mittels eines Klettverschlusses am Bein des Teilnehmers fixiert (2-3cm oberhalb des Sprunggelenks). Der Beckengürtel und der Oberschenkel sind fixiert. Das Bewegungsausmass liegt zwischen 90° und 10° Knieflexion.

Die Schnellkraft wird meistens anhand von vertikalen Sprüngen (Jump-Tests) getestet. Die häufigste verwendete Untersuchung ist der Squat-Jump (rein konzentrische, beidbeinige Absprungbewegung in die Höhe ohne Ausholbewegung, Ausgangsposition ca. 90° Knieflexion, Hände auf die Hüfte gestützt).

Die Reaktivkraft wird meistens durch den Counter-Movement-Jump getestet (gleich wie Squat-Jump aber mit Ausholbewegung).

In unserer Studie haben wir die drei folgenden Tests ausgeführt: Isokinetische Maximalkraftmessung, Squat-Jump (SJ) und Counter-Movement-Jump (CMJ). Diese drei Tests sind ergänzend und vermitteln daher ein genaues Bild der Maximalkraft, Reaktivkraft und der Schnellkraft.



Abb 3: Sprungplatte (Kistler)

Wir verwendeten folgende zwei Apparate, die auch in den meisten Swiss Olympic Medical Centers eingesetzt werden:

Der Con-Trex (Con-Trex MJ; CMV AG, Dübendorf, Switzerland) erlaubt die isolierte, maximal konzentrische, exzentrische und isometrische Testung der Knieflexoren (ischiocrurale Muskulatur) und -extensoren (M. Quadriceps). Somit spielt die intermuskuläre Koordination bei dieser Messung eine untergeordnete Rolle. Da dieser Test in der offenen Kette durchgeführt wird, ist er nicht besonders funktionell aber dafür analytisch.

Die Kistler-Kraftmessplatte (Quattro-Jump mobiles Messplattformsystem; Kistler Instrumente AG; Winterthur; Switzerland) berechnet die Leistung (Watt) und die Höhe (cm) bei Sprüngen. Dieser Test hat den Vorteil, dass er funktioneller ist als die isokinetische Kraftmessung. Er kann aber die Muskeln nicht isoliert testen, sondern testet das Zusammenwirken mehrerer Muskelgruppen (Knie-, Hüft- und Rückenextensoren sowie Plantarflexoren). Bei diesem Test spielt die intermuskuläre Koordination zum Erreichen einer guten Sprunghöhe eine wichtige Rolle.

2.2 Sensomotorisches Training (SMT)

Innerhalb des SMT's werden Übungen ausgeführt, welche überwiegend durch zentralnervöse Steuer- und Regulationsprozesse zustande kommen. Im Hinblick auf die Leistung stehen vor allem die informationellen (neuralen) Aspekte im Vordergrund und nicht die energetischen. Oft geht es bei sensomotorischen Übungen darum, auf einem Bein auf einer instabilen Unterlage das Gleichgewicht zu halten oder nach einem Sprung möglichst schnell wieder ein stabiles Gleichgewicht zu erlangen (Siehe Kapitel 3.3).

2.2.1 Begriffsbestimmung des SMT's

Der Begriff des sensomotorischen Trainings ist im internationalen Sprachgebrauch unklar und die Verwendung uneinheitlich. Oft wird von propriozeptivem Training gesprochen (Caraffa et al., 1996, Dohm-Acker et al., 2008), von Gleichgewichtstraining (Taube et al., 2007, McGuine et al., 2006, Heitkamp et al., 2001, Myer G. et al., 2008), von Koordinationstraining (Chwilkowski 2006), von neuromuskulärem Training (Holm et al. 2004) oder eben von sensomotorischem Training (Brand 2007, Bruhn et al., 2006, Gruber et al., 2004).

Meistens wird mit diesen unterschiedlichen Begriffen das Gleiche gemeint und es werden innerhalb diesen verschiedenen Trainingsbegriffen auch die gleichen Übungen ausgeführt. Das Ziel dieses Kapitels ist, die verschiedenen Terminologien zu definieren und Klarheit zu schaffen.

2.2.1.1 Sensomotorisches System

Der Träger sämtlicher Bewegungsleistungen des Menschen ist das sensomotorische System (SMS). Es wird durch die kreisförmige Verknüpfung der nachfolgend genannten anatomischen Strukturen gebildet (Laube 2004, 2008).

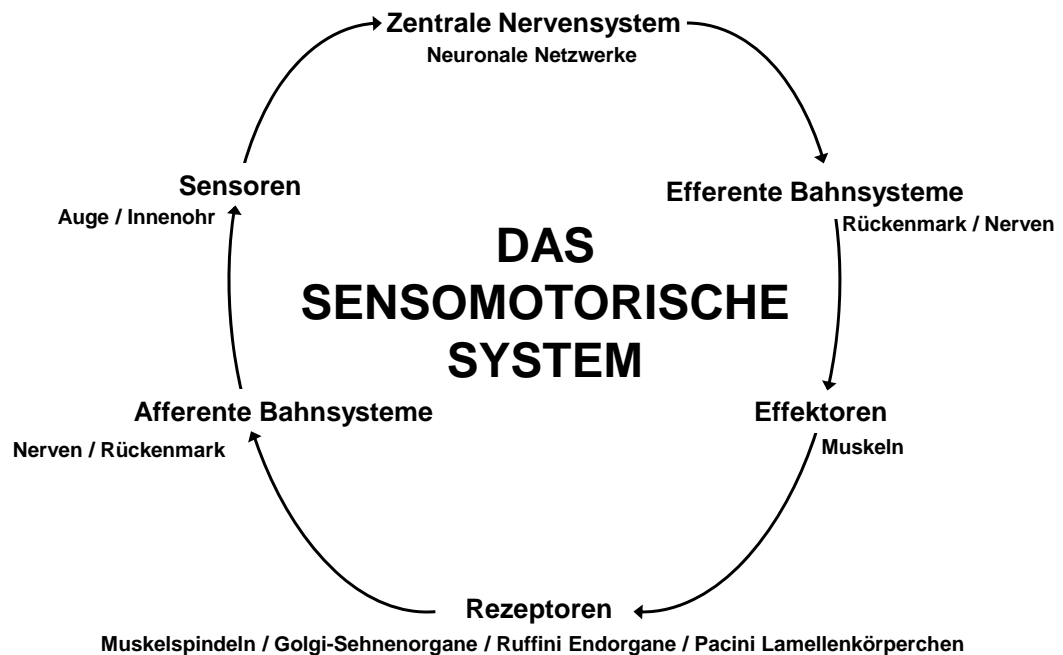


Abb 4: Schematische Darstellung des SMS (modifiziert nach Laube 2008)

- **Sensoren/Rezeptoren:** Übersetzung von Reizen aus dem Körper (interne Reize) und der Umwelt (externe Reize) in die körpereigene Sprache.
- **Afferente Bahnsysteme:** Transport der von den Sensoren transformierten Informationen zu den neuronalen Netzwerken des Rückenmarks und des Gehirns.
- **Spinale und supraspinale neuronale Netzwerke:** Verarbeitung der afferenten Information zu einer motorischen Antwort.
- **Efferente Bahnsystem:** Transport der Antwort zu den Effektoren (Muskeln).
- **Effektoren/Muskeln:** Beantwortung mit der spezifischen Muskelfunktion. Stabilisierende und/oder dynamische Wirkung auf die Gelenke.
- **Sensoren/Rezeptoren:** Erneute Übersetzung von neu gewonnen Reizen durch die Bewegung (reafferente Informationen). Somit wird der Funktionskreis des SMS geschlossen.

Das SMS hat bei jeder Bewegung zwei von einander abhängige und untrennbare Leistungen zu erbringen (Laube 2008):

Die Zielsensomotorik, welche alle sensomotorischen Komponenten beinhaltet, die der Bewegungshandlung dienen.

Die Stützensensomotorik, welche alle sensomotorischen Komponenten beinhaltet, die der Haltung, der Stellung und des Gleichgewichts dient.

Brand 2007 definiert in seiner Dissertation die Sensomotorik folgendermassen: *„Die Leistung der Sensomotorik ist die Wahrnehmung von externen und internen Reizen, sowie deren Weiterleitung zum zentralen Nervensystem und deren Integration in den efferenten motorischen Anteil.“*

Das sensomotorische System beschreibt die Integration und die Verarbeitung von sensorischer Wahrnehmung und die Motorik die involviert wird, um eine funktionelle Gelenkstabilität herzustellen (Riemann et al., 2001).

2.2.1.2 Koordination

Es gibt viele verschiedene Konzepte und Blickwinkel um die koordinativen Fähigkeiten zu definieren und einzuteilen. Laube 2008 macht die Komplexität der sensomotorischen Koordination dafür verantwortlich, dass bis heute keine allgemeingültige Gesamtkonzeption und Struktur der koordinativen Fähigkeiten vorliegt.

Die Koordinationsfähigkeit ist die sensomotorische Organisation und Regulation von Bewegungen. Aus physiologischer Sicht versteht man darunter die dynamische, zielgerichtete, ergebnisbezogene und geregelte Organisation von Haltung und Bewegung. Koordination bedeutet, dank den afferenten und reafferenten Informationen des SMS, laufend angepasste Entscheidungen zu erarbeiten, die sich als Bewegung und Körperhaltung äussern. Die Qualität der Koordination ist abhängig von bisher sensomotorisch erlernten und gesammelten Erfahrungen, vom physischen

Trainingszustand, von psychischen Erfahrungen, von der Kognition, von der Motivation und dem Alter (Laube 2008).

Bruhn 2003 beschreibt die Koordination als Prozess der inneren und äusseren Wahrnehmung von Kräften und Bewegungen, der Integration dieser Wahrnehmungen in die programmgesteuerten Aktivierungen von motorischen Einheiten, Muskeln und Muskelschlingen zum Zweck der situationsadäquaten Stiffnessregulation (Muskeltonus) und Kraftübertragung mit dem Ziel aufgabenspezifischer Haltung und Bewegung.

Die qualitative Dimension spielt im Zusammenhang mit der Koordination eine wichtige Rolle. Für die Beschreibung der Koordination werden oft subjektive Begriffe wie sicher, präzise, mühelos, harmonisch oder fließend verwendet (Laube 2008). Somit kann die Koordination auch als eine qualitative Einschätzung einer sensomotorischen Leistung angesehen werden.

Oft wird die Koordination in verschiedene koordinative Fähigkeiten unterteilt. Dabei handelt es sich um die Gleichgewichtsfähigkeit, die kinästhetische Differenzierungsfähigkeit, die räumliche Orientierungsfähigkeit, die Reaktionsfähigkeit, die Umstellungsfähigkeit, die Rhythmisierungsfähigkeit und die Kopplungsfähigkeit (Laube 2008).

2.2.1.3 Gleichgewicht

Die Gleichgewichtsfähigkeit muss als die Basisfähigkeit angesehen werden. Sie ist die Grundlage der Stützensensorik und dient der aktiven statischen und/oder dynamischen Sicherung und Stabilisierung des Gleichgewichts (Laube 2008).

Unter dem statischen Gleichgewicht versteht man die Aufrechterhaltung der posturalen Kontrolle (Standstabilität = möglichst ruhiges stehen, ohne Bewegung). Hingegen ist beim dynamischen Gleichgewicht die Aufrechterhaltung der Standstabilität während einer bestimmten Bewegungsaufgabe gemeint.

2.2.1.4 Propriozeption

Unter Propriozeption verstehen wir die Wahrnehmungsqualität dank verschiedenen peripheren Sensoren (Propriozeptoren) in Haut-, Muskel-, und Gelenkstrukturen sowie die Weiterleitung dieser Wahrnehmung zum zentralen Nervensystem (ZNS). Bei dieser Wahrnehmung handelt es sich um die Wahrnehmung von der Lage eines Körpersegments, einer Muskelspannung und einer Gelenkbewegung (Asthon-Miller et al. 2001). Demnach handelt es sich bei der Propriozeption im Vergleich zur Sensomotorik „nur“ um einen afferenten Anteil. Die Verwendung dieses Begriffes „propriozeptives Training“ gibt zum Ausdruck, dass dabei nur die propriozeptiven Strukturen trainiert werden, was allerdings nicht nachgewiesen ist. Der Begriff SMT ist zwar ungenauer, aber die Bezeichnung ist korrekter als „propriozeptives Training“, weil er keine Aussage darüber macht, welche Struktur trainiert wird. Aus diesem Grund wird in dieser Studie der Begriff SMT verwendet. Der Begriff Gleichgewichtstraining kann mit dem Begriff SMT gleichgesetzt werden (Brand 2007). Die Differenzierung von afferenten und efferenten Strukturen ist nicht einfach, da die Messmethoden immer auch die motorische Komponente messen (Asthon-Miller et al., 2001).

Zu den peripher afferenten Strukturen, die der Reizwahrnehmung dienen, gehören unter anderem folgende Propriozeptoren, die einen grossen und wichtigen Anteil in Anspruch nehmen:

- Muskelspindel: Messung von Muskellängenänderungen bei Dehnung.
- Golgi-Sehnenorgan: Messung von Muskelsehnenanspannungen bei Dehnung oder Kontraktion.
- Ruffini Endorgane: Übermittlung von Gelenkstellung durch gelenknahe Rezeptoren.
- Pacini Lamellenkörperchen: Registrierung von Beschleunigungen durch gelenknahe Rezeptoren.

Die Propriozeptoren liegen in den Muskeln, Sehnen, Ligamenten, Kapseln und in der Haut (Riemann et al., 2002).

2.2.2 Physiologische Grundlagen des SMT`s

Die Wirkungsweise von SMT wird vor allem im Zusammenhang mit der Verletzungsprophylaxe untersucht. Die verletzungsprophylaktische Wirkung ist in der Literatur zum grössten Teil unumstritten (Hrysomallis 2007, Brand 2007, Caraffa et al., 1996). Es gibt nur wenige Autoren, die dem SMT die präventive Wirkung für Verletzungen der unteren Extremitäten absprechen (Söderman et al., 2000) oder beschränken (Verhagen et al., 2005).

Um die Wirkungsweise des SMT`s zu erfassen, wird die Standstabilität praktisch in jeder Studie, in der es um Sensomotorik geht, getestet. Meistens kommt es durch SMT zu einer Verbesserung der Standstabilität (Holme et al., 2004, Gruber 2001, Bruhn et al., 2004, Yaggie et al., 2006, Kidgell et al., 2007, Hrysomallis 2008). Auch wenn dies nicht ganz unumstritten ist (Verhagen et al., 2005). Posttraumatisch kommt es oft zu einem Defizit der Standstabilität (Jerosch et al., 1998). Mehrere Autoren postulieren ein erhöhtes Verletzungsrisiko im Zusammenhang mit einer defizitären Standstabilität (Hertel et al., 2002, Gribble et al., 2004, Brand 2007). Brand 2007 vermutet, dass Personen mit einer besseren Standstabilität nicht so oft in verletzungsgefährdende Positionen kommen und sich dadurch auch weniger häufig verletzen.

Viele Verletzungen geschehen gegen Ende einer Aktivität, wenn das Individuum müde ist (Yaggie und McGregor 2002, Gioftsidou et al, 2006). Es ist wahrscheinlich, dass viele dieser Verletzungen durch die Ermüdung der stabilisierenden Muskulatur und der daraus folgenden Gelenkinstabilität zustande kommen (Yaggie und McGregor 2002). Gelenkinstabilität bedeutet eine defizitäre Standstabilität, was schliesslich zu einer verminderten posturalen Kontrolle führt. Der verbesserten posturalen Kontrolle kann eine verletzungsprophylaktische Wirkung zugeschrieben werden (Brand 2007).

Umstritten ist allerdings, welcher der physiologischen Anpassungseffekte für die verletzungsprophylaktische Wirkung von SMT verantwortlich ist (Brand 2007).

Brand 2007 zeigt, dass Reflexe durch SMT modulierbar sind. Aufgaben, die eine hohe Anforderung an die Gleichgewichtsfähigkeit stellen, wie wir sie typischerweise innerhalb des SMT`s antreffen, dämpfen die reflektorische, neuromuskuläre Aktivität.

Durch die gedämpften Reflexe bei motorischen Aufgaben, die ein hohes Mass an Gleichgewicht erfordern, kommt es zu einer Verbesserung der Standstabilität. Athleten, die durch ihre Sportart häufig in ihrer Gleichgewichtsfähigkeit gefordert werden, verfügen über ein niedrigeres Reflexniveau als andere Athleten. Es scheint funktionell, dass bei Instabilität das Reflexniveau gedämpft wird, denn die Bewältigung einer Aufgabe unter instabilen Bedingungen erfordert kontrollierte und differenzierte Bewegungen.

Nach Bruhn 2003 kommt es durch ein sensomotorisches Training zu einer verstärkten Rückmeldung von sensorischen Inputs, vor allem durch die Propriozeptoren. Diese Inputs werden entsprechend höher gewichtet und es kommt somit zu einer Optimierung der afferenten Komponente des sensomotorischen Systems. Er vermutet, dass sich dank SMT die aufgabenspezifische intermuskuläre Koordination im Hinblick auf die Standstabilisation verbessert. Durch die verbesserte Wahrnehmungsfähigkeit von sensorischen Qualitäten wie Kräfte, Spannungen, Bewegungen und Beschleunigungen infolge von SMT, kommt es zu einem verbesserten Ansteuerungsverhalten der Muskulatur, was schliesslich eine verbesserte Standstabilität zur Folge hat.

Die Verletzungen im Bereich des Sprunggelenks passieren allerdings in einem sehr kurzen Zeitfenster. Die Aktivierung eines Muskels nach dem Beginn eines Verletzungsmechanismus genügt nicht, um eine Verletzung zu verhindern, da die neurophysiologische Reizleitungsgeschwindigkeit zu langsam ist (Ashton-Miller et al., 2001).

Die reduzierten Reflexe infolge von SMT sind im Gegensatz zur besseren Standstabilität in Bezug auf die Verletzungsprophylaxe schwierig zu diskutieren. Ein niedriges Reflexniveau spricht nicht gerade für eine verletzungsprophylaktische Wirkung. Hätte doch auf den ersten Blick eine hohe neuromuskuläre Aktivität innerhalb der Reflexphase eine höhere verletzungsprophylaktische Relevanz (Brand 2007).

Wenn man das Zeitargument von Ashton-Miller et al., 2001 berücksichtigt, könnte es sein, dass Reflexe in der Prophylaxe von Verletzungen vielleicht keine entscheidende Rolle spielen und das niedrigere Reflexniveau der Preis für die bessere Standstabilität ist.

Für Bruhn 2003 ist für die Verletzungsprophylaxe vor allem die reflektorische Muskelaktivität relevant, da in der extrem kurzen Zeit, in der die Verletzungen normalerweise ablaufen, keine Chance besteht, das Gelenk über die Willkürmotorik zu schützen.

Bruhn 2003 nimmt das Zeit-Argument von Asthon-Miller sehr ernst in Bezug auf Verletzungen, in denen sich die gelenksschützende Muskulatur in einem inaktiven und detonisierten Zustand befindet. Durch den vermehrten sensorischen Einfluss infolge von SMT, rechnet er mit einer Sensibilisierung der Muskelspindel. Über Gamma-Motoneurone können Muskelspindeln vorausschauend entsprechend sensibel voreingestellt werden, dass es vorab schon zu einer Tonuserhöhung der Muskulatur kommt. Diese vorbereitende Stiffnessregulation kann in potentiellen Gefahrensituationen effektiv zur aktiven Gelenkstabilisation beitragen. Diese antizipierende Tonuserhöhung wird dem fusimotorischen System zugeschrieben.

Eine tonisierte Muskulatur kann von aussen einwirkenden Kräften besser entgegenwirken, als eine laxe Muskulatur. Zudem dürfte die mechanische Wirkung und die Geschwindigkeit eines monosynaptischen Reflexes grösser und schneller sein, wenn er eine - über das fusimotorische System steif eingestellte - Muskulatur aktiviert. (Bruhn 2003). Der Propriozeption, insbesondere der Muskelspindel, kommt im Hinblick auf die fusimotorische Einstellung des Muskeltonus zur Verletzungsprävention eine zentrale Bedeutung zu (Solomonow et Krogsgaard 2001).

Brand 2007 bestätigt, dass es aufgrund des Zeitarguments von Asthon Miller übereilt wäre, dem SMS und dessen funktionalen Reflexen die verletzungsprophylaktische Funktion abzusprechen. Denn die Voraktivierung der gelenkumgreifenden Muskulatur bestimmt in hohem Masse den Charakter der Reflexaktivität. Das SMS kann einen positiven Einfluss auf das Verletzungszeitfenster haben, indem eine muskuläre Vorspannung des Gelenks aufgebaut werden kann. Zudem kann das sensomotorische System das Gelenk vor Verletzungen schützen, die nicht in diesem Zeitfenster ablaufen.

SMT führt weiter auch zu Verbesserungen der willkürlichen Muskelaktivität (Gruber et al., 2004, Bruhn et al., 2004). SMT scheint besonders in den frühen Phasen der

willkürlichen Kontraktion starke Veränderungen bei den Parametern Kraft und neuromuskulärer Aktivität hervorzurufen.

Gruber et al., 2004 konnte infolge von SMT eine Erhöhung der Kraftanstiegsrate bei gleichzeitig stark erhöhter neuromuskulärer Aktivität in den frühen Phasen der Muskelaktivität feststellen. Während sich der absolute Kraftwert nicht veränderte, stellte er aber höhere absolute Kraftwerte bei den Zeitpunkten 30ms und 50ms nach Beginn der Kontraktion fest.

SMT ist eine effiziente Trainingsart um den Explosivkraftparameter innerhalb der Schnellkraft - und die neuromuskuläre Aktivität am Anfang von willkürlichen Aktionen zu verbessern (Gruber et al., 2004). Obschon beim SMT keine explosiven Bewegungen ausgeführt werden, kommt es - je nach Trainingsmittel - zu sehr hochfrequenten Bewegungen (Gruber 2001), was zu ähnlichen Anpassungserscheinungen führt wie ein Schnellkrafttraining. Die hohen Geschwindigkeiten der stabilisierenden Bewegungen während des SMT's führen vermutlich zu einer höheren Geschwindigkeit der neuromuskulären Aktivierung und scheinen für die genannten Adaptationen verantwortlich zu sein.

Bruhn et al., 2004 stellte nach einer vierwöchigen SMT-Intervention eine Verbesserung bei Sprüngen (Drop Jump und Squat Jump) fest. Eine wichtige Rolle hierfür ist neben der Verbesserung der intermuskulären Koordination höchstwahrscheinlich auch die erhöhte Reaktiv- und Schnellkraft.

Es besteht eine starke Evidenz, dass SMT die physischen Leistungen verbessert, wie Maximalkraft, Kraftanstiegsrate und Schnellkraft (Bruhn et al., 2006, Bruhn et al., 2004, Heitkamp et al., 2001, Taube et al., 2007, Wahl et al., 2008).

Aufgrund dieser Anpassungserscheinungen wird klar, dass SMT nicht nur in der Rehabilitation und Prävention von Verletzungen einen hohen Stellenwert genießt, sondern auch in der Verbesserung der sportlichen Leistungsfähigkeit.

Brand 2007 erwähnt mehrere Autoren die infolge von muskulärer Ermüdung eine erhöhte neuromuskuläre Aktivität beobachten, da bei Ermüdung das neuromuskuläre

System versucht, weitere motorische Einheiten zu rekrutieren, um task-failure (Aufgabenfehler) zu vermeiden.

Wenn eine sensomotorische Übung (SMÜ) direkt nach einer Kraftübung (KÜ) ausgeführt wird, welche die gleichen Muskeln beansprucht, rechnen wir infolge der Vorermüdung durch die Kraftübung, mit einer erhöhten neuromuskulären Aktivität während der SMÜ. Durch die fortschreitende Rekrutierung von motorischen Einheiten infolge von der muskulären Ermüdung, gehen wir von einer kompletteren Beanspruchung des Muskels (Muskelfasern) und somit auch von einer kompletteren Sensibilisierung der Muskelspindeln, während der SMÜ aus. Ziel ist es, dass die SMÜ von Anfang an mit einem voll aktivierten Muskel ausgeführt wird und die neurale Kapazität ganz ausgeschöpft wird. Ähnlich wie beim Prinzip der isometrischen Vorermüdung (siehe Kapitel 2.1.3.2) beim Krafttraining oder der Kontrastmethode (siehe Kapitel 2.1.3.4). In unserer Studie möchten wir überprüfen, ob sich dieser theoretische Gedanke bewahrheitet und sich in unseren Tests (siehe Kapitel 3.4.2-3.4.4) zeigen lässt.

Wird im sensomotorischen Training eine neue Bewegung oder Bewegungskontrolle erlernt oder wieder erlernt, wie es oft am Anfang der Rehabilitation der Fall ist, scheint es sinnvoll, diese Bewegung zuerst im unermüdetem Zustand zu trainieren. Eine inkorrekte Durchführung könnte zu einem „einschleifen“, d.h. automatisieren von falschen Bewegungsmustern führen. Ist eine Bewegung oder eine Bewegungskontrolle (z.B. aktive Stabilisierung der Beinlängsachse) einmal erlernt, ist es vorstellbar, dass sie auch unter muskulärer Ermüdung korrekt ausgeführt wird, und somit keine Gefahr besteht, eine inkorrekte Bewegung oder Bewegungskontrolle zu erlernen. Das Training unter muskulärer Ermüdung stellt ganz andere Anforderungen an die zentrale Steuerung und die energetischen Prozesse.

Unsere Trainingsintervention eignet sich vor allem für sportliche Patienten, die sich am Ende einer Rehabilitationsphase befinden oder für gesunde Sportler, im Sinne eines Präventionstrainings.

Dohm-Acker et al., 2008 stellte schnell abfallende EMG Werte während sensomotorischen Übungen fest. Er gibt zu bedenken, dass nach der anfänglichen

Gleichgewichtsherstellung keine weitere Herausforderung mehr an die Sensomotorik gestellt wird. Zum Gleichgewichtserhalt ist nur eine geringe sensomotorische Korrektur bzw. muskuläre Aktivität notwendig. Für eine sinnvolle Übungsgestaltung gibt er die Trainingsempfehlung eine Zusatzaufgabe zu stellen, sobald das Gleichgewicht erreicht ist, oder die Übungen nur solange auszuführen bis das Gleichgewicht auf dem Gerät stabilisiert ist, was bei den betrachteten Geräten (Therapiekreisel, Kippelbrett, Weichbodenmatte, Posturomed) eine Dauer von maximal 15 Sekunden betragen würde.

In unserer Studie ist die „Zusatzaufgabe“ unter anderem eine vorhergehende Kraftübung (Vorermüdung), was wir aus funktioneller Sicht als sinnvoll erachten.

2.2.3 Methoden des SMT`s

Im Gegensatz zu Trainingsformen wie Ausdauertraining, Schnellkraft oder Maximalkraft, gibt es für SMT keine wissenschaftlichen Richtwerte für die Belastungsparameter wie Dauer und Intensität. Die Trainingsgestaltung von SMT ist zurzeit nur auf Erfahrungswerten basiert (Bruhn 2003).

Der Einfluss der Belastungsdauer auf neuromuskuläre Ermüdungsprozesse während des Trainings und auf die Anpassungserscheinungen nach dem Training wurde für das sensomotorische Training noch nicht untersucht (Bruhn 2003). Es gibt keine wissenschaftlichen Hinweise, unter welchen Belastungsparametern und Trainingsmodalitäten die neurale Adaptation am besten und am effizientesten stattfindet.

Die Bandbreite der Belastungsdauer von SMT reicht von 5s (Petersen et al., 2005) über 15s (Dohm-Acker et al., 2008), 150s (Caraffa et al., 1996), bis zu „so lange wie möglich“ (Jerosch et al., 1998).

In den methodischen Grundsätzen des SMT`s stösst man oft auf die Empfehlung, die Übungen nur im unermüdeten Zustand auszuführen (Weineck 2007, Spring 2006).

Für das SMT gibt es keinen einfachen, aufwandsarmen Beanspruchungsparameter mit dessen Hilfe eine optimale Kontrolle und Dosierung des SMT's erfolgen könnte. Selbst im wissenschaftlichen Labor steht ein solcher Parameter nicht zur Verfügung. Die Belastung des SMT's kann nur subjektiv über die Einschätzung der Bewegungsqualität gesteuert werden. Neue, noch unvollkommen beherrschte Übungen sollten nur solange wiederholt werden, bis noch kein ermüdungsbedingter Qualitätsverlust zu erkennen ist. Jeder Fehlversuch schult ein falsches Bewegungsmuster. Bewegungsfertigkeiten, die bereits gut beherrscht werden, müssen zur weiteren Stabilisierung auch im ermüdeten Zustand trainiert werden (Laube 2008).

Die im SMT eingesetzten Trainingsgeräte zeichnen sich alle durch eine unterschiedliche Charakteristik aus. Es gibt verschiedene Studien, welche unterschiedliche Trainingsgeräte miteinander auf ihre Wirkung untersucht haben (Dohm-Acker et al., 2008, Kidgell et al., 2007, Michell et al., 2006).

Auf der Basis seiner EMG Daten gibt Dohm-Acker et al., 2008 Empfehlungen für den gezielten Einsatz von Trainingsgeräten heraus. Für therapeutische oder präventive Massnahmen am Sprunggelenk empfiehlt er den Einsatz des Kippelbretts oder der Weichbodenmatte. Falls das Ziel eher die Verbesserung der Sensomotorik des Kniegelenks ist, empfiehlt er den Einsatz des Posturomed oder der Matte. In der Frühphase der Rehabilitation empfiehlt er den von ihnen eingesetzten Thrapiekreisel, gibt allerdings zu bedenken, dass in Zukunft noch Messungen (EMG) mit anderen Kreisel mit einer kleineren Kugel durchgeführt werden müssen. Brand 2007 empfiehlt eher die Airex Matte als Einstiegsggerät. Schlussendlich kommt es auch noch drauf an, wie man das Gerät einsetzt und welche Übungen darauf realisiert werden.

Die Kombination und der Einsatz verschiedener Trainingsmittel scheinen für ein motivierendes und abwechslungsreiches SMT sinnvoll (Brand 2007).

Das methodische Grundprinzip des SMT's lebt von der Variation und Kombination der Bewegungsaufgaben als auch von den Veränderungen der Umweltbedingungen, in und mit denen die Aufgaben erfüllt werden (Laube 2008).

Wie jedes Training ist auch das SMT an den trainingmethodischen Grundsatz der Mindestbeanspruchung gebunden und die Reizwirksamkeit einer Belastung kann nur durch Belastungssteigerung aufrechterhalten werden (Laube 2008).

2.2.4 SMT Assessments

Die meisten sensomotorischen Tests wurden für Kinder, betagte Menschen oder neurologische Patienten entwickelt (Tinetti, Timed-up and go, Seat and reach test,...). Diese Tests sind in der Regel zu einfach für eine aktive, beziehungsweise sportliche, Population.



Abb 5: Star Excursion Balance Test (SEBT)

Für die Überprüfung des dynamischen und statischen Gleichgewichts setzen die meisten Autoren Standstabilitätstests ein. Oft wird die Standstabilität statisch im Einbeinstand auf einer Kraftmessplatte erfasst (Wackelweg-Berechnung des Druckmittelpunktes) (Hrysomallis et al., 2008, Riemann et al., 2002) und manchmal auch dynamisch über eine bestimmte

Bewegungsaufgabe, wie beim Star Excursion Balance Test (SEBT) (Gribble et al., 2004).

In unserer Studie haben wir die folgenden zwei Tests ausgeführt:

Der **Star Excursion Balance Test (SEBT)** ist mehrmals in der Literatur beschrieben (Gribble et al., 2004, 2007, Hertel et al., 2000, 2006, Olmsted et al., 2002). Während diesem Test steht der Proband im Einbeinstand mit den Händen auf die Hüfte gestützt in der Mitte eines Sternes mit acht Ästen. Mit dem anderen Fuss versucht er, die Äste so weit als möglich vom Zentrum entfernt zu berühren. Der Teilnehmer hat das Recht auf drei Versuche in alle acht Ausrichtungen der Äste. Die grösste erreichte Distanz zum

Zentrum wird gewertet. Dieser Test erfasst das dynamische Gleichgewicht. Denselben Test haben wir zusätzlich noch auf einer instabilen Unterlage (AIREX Balance-Pad; Alcan Airex AG; Sins; Switzerland) ausgeführt (SEBT Airex).

Als zweiten Test haben wir den **Dotte Balance Test (DBT)** entwickelt. Bei diesem Test geht es darum, möglichst ruhig, während 12 Sekunden im Einbeinstand mit den Händen auf die Hüfte gestützt, auf der Dotte-Schaukel zu stehen und das Gleichgewicht zu halten. Wir haben uns für die Dotte Schaukel entschieden, weil diese von den Athleten subjektiv als schwierigstes Gleichgewichtsgerät eingeschätzt wird (Spring 2005).



Abb 6: Dotte Balance Test (DBT)

Die Auswertung von diesem Test wird anhand eines Beschleunigungsmessers vorgenommen. Der Beschleunigungsmesser (The DynaPort; McRoberts BV, The Hague, The Netherlands) ist direkt auf der Dotte-Schaukel befestigt und misst mit einer Frequenz von 100 Hz die Beschleunigungen in die drei Dimensionen, anhand drei piezoelektrischer orthogonaler Sensoren. Die Messungen wurden danach auf einer SD Karte (Sony) gespeichert und mit einem Informatikprogramm (R, r-project) analysiert. Für die Auswertung wurden die erste und die letzte Sekunde gestrichen (reelle Messung 10 Sekunden). Anschliessend haben wir die mediolaterale Beschleunigung isoliert und die „Root Mean Square (RMS) berechnet. Je tiefer das Resultat ist, umso besser ist die Standstabilität. Dieser Test erfasst das statische Gleichgewicht.

3. Methodik

3.1 Design der Studie

Randomisierte Pilotstudie.

3.2 Population

30 freiwillige Teilnehmer haben, nachdem sie schriftlich (Anhang 9.2) und mündlich über den Ablauf der Studie informiert wurden, ein Einverständnisformular (Anhang 9.1) unterschrieben.

Population	Trainingsgruppe A	Trainingsgruppe G	Gesamt
Anzahl (F/M)	14 (10/4)	14 (10/4)	28 (20/8)
Körpergrösse (m \pm SD)	1.72 \pm 0.10	1.69 \pm 0.09	1.71 \pm 0.10
Gewicht (kg \pm SD)	66.07 \pm 7.67	62.07 \pm 10.06	64.07 \pm 9.01
Alter (Jahre \pm SD)	22.86 \pm 3.35	25.36 \pm 6.06	24.11 \pm 4.97
Fitness (T/M/H)*	6/7/1	4/7/3	10/14/4
*Fitness T : 3-5 Stunden Sport wöchentlich ; M : 5-10 Stunden Sport wöchentlich; H: mehr als 10 Stunden Sport wöchentlich SD = Standardabweichung			

Tab 1: Probandendaten

Um bei der Studie mitmachen zu können, mussten die Teilnehmer mindestens 18 Jahre alt sein, sich mindestens 3 Stunden pro Woche sportlich betätigen und innerhalb des letzten Jahres an keinen schwerwiegenden Verletzungen der unteren Extremitäten

gelitten haben. Teilnehmer mit einer Verletzung, die ein Training und eine maximale Belastung bei den Tests verbietet, wurden ausgeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien waren: Schwangerschaft, Krankheiten die ein körperliches Training verbieten, Schmerzen bei körperlicher Belastung (Sprünge, Kniestreckung gegen Widerstand) und bekannte vestibuläre- und oder visuelle Störungen.

Die Probanden wurden per Informatikprogramm randomisiert und in zwei Trainingsgruppen (Gruppe A und G) zugeteilt. Frauen und Männer wurden getrennt, um eine homogene Zusammenstellung der beiden Geschlechter zu erhalten.

Zwei Probanden fielen während der Studie aufgrund einer Verletzung aus (je einer pro Gruppe). Die Verletzungen hatten nichts mit der Trainingsintervention zu tun. Da die zwei Drop-outs keine Messung beim zweiten Test aufweisen, wurden sie in den Ergebnissen ausgeschlossen.

3.3 Trainingsintervention

Die Trainingsintervention dauerte fünf Wochen. In der Woche vor der Trainingsintervention wurde die Eingangsuntersuchung durchgeführt. In den ersten vier Wochen fanden 2 Trainingseinheiten pro Woche statt, jeweils montags und donnerstags. In der letzten Woche fand nur noch das Montag-Training statt, am Donnerstag und Freitag nahmen wir die Schlussuntersuchung vor. Insgesamt führten die Teilnehmer neun Trainings (Therapien) aus, was häufig einer klassischen Physiotherapieverordnung entspricht.

Gruppe A absolvierte ein sensomotorisches Training, in welchem auf eine Kraftübung (KÜ) (Knie- und Hüftextensoren und oder Knieflexoren) sofort eine sensomotorische Übung (SMÜ) folgte, in welcher die gleichen Muskeln beansprucht wurden (KÜ-SMÜ Alternierend).

Gruppe G absolvierte ein sensomotorisches Training, in welchem zuerst sensomotorische Übungen ausgeführt wurden und erst anschliessend Kraftübungen (Knie- und Hüft-Extensoren und oder Knieflexoren) (SMÜ-KÜ Getrennt).

In beiden Gruppen wurden dieselben sensomotorischen- und Kraftübungen ausgeführt sowie die gleiche Anzahl an Wiederholungen und Serien. Die Gruppe A unterscheidete sich im Vergleich zur Gruppe G nur dadurch, dass die sensomotorischen Übungen direkt nach einer Kraftübung ausgeführt wurden.

Eine schwierige Frage war die Belastungsdauer der sensomotorischen Übungen, da hierzu keine wissenschaftlichen Werte existieren. Wir entschieden uns für 30 Sekunden, wie die Trainingsgruppe von Brand 2007, die beim Standstabilitätstest identische Resultate erzielte wie eine Trainingsgruppe, die 90 Sekunden lang trainierte. Eine wichtige Voraussetzung bei der Ausführung der sensomotorischen Übungen war der Erhalt der Bewegungsqualität (Axiale Ausrichtung von Fuss-, Knie- und Hüftgelenk), welche subjektiv durch einen Physiotherapeuten kontrolliert wurde. Falls die Bewegungsqualität verloren ging, wurde die Übung vor dem Erreichen der 30 Sekunden abgebrochen, oder eine Pause gewährt.

In dieser Studie wurden für die sensomotorischen Übungen fünf verschiedene Trainingsmittel eingesetzt, die hochfrequente Bewegungen der unteren Extremitäten provozieren: das Airex Balance Pad, die Dotte-Schaukel, das Minitrampolin, die Slackline und der Therapiekreisel. Alle Trainingsgeräte erlauben mehrdimensionale Bewegungen.



Abb 7: Therapiekreisel, Airex Matte, Minitrampolin, Slackline, Dotte-Schaukel

In der ersten Woche wurden die sensomotorischen Übungen ohne Zusatzaufgaben durchgeführt. In den folgenden Wochen kam es zu verschiedenen Zusatzaufgaben: Gegenseitiges Ball zuwerfen, Augen schliessen, Einnahme verschiedener Gelenkwinkel und Stabilisierungssprünge (Airexmatte, Minitrampolin). Alle sensomotorischen Übungen wurden barfuss ausgeführt, um die Rezeptoren maximal zu stimulieren.

Bei den Kraftübungen wurden 10 – 12 Wiederholungen ausgeführt, was einem klassischen Hypertrophietraining entspricht. In der ersten Woche wurden 3 Serien pro Kraftübung durchgeführt, in der zweiten Woche wurde auf 4 Serien erhöht. Ab der dritten Woche wurde vor den Kraftübungen eine isometrische Vorermüdung (30s) durchgeführt und in den letzten Wochen begann das plyometrische Training und die Kontrastmethode (siehe Kapitel 2.1.3).

Für die Pausen zwischen den Übungen, welche die gleiche Muskulatur beanspruchen, wurde die gängige Trainingspraxis von „Pause = doppelte Belastungsdauer“ angewendet (Schnabel et al., 2008).

3.4 Messmethodik und Testablauf

Alle Teilnehmer führten zwei physische Tests im Leistungsanalysezentrum von Swiss Olympic in Leukerbad durch. Die Eingangsuntersuchung aller Probanden fand am 22. und 23.10.2008 statt und die Schlussuntersuchung am 27. und 28.11.2008. Die zeitliche Reihenfolge (Tag und Uhrzeit) wurde beim zweiten Test exakt beibehalten, da bekannt ist, dass die Tageszeit einen Einfluss auf die sportliche Leistung hat (Gribble et al., 2007(1)).

Vor dem Test absolvierten die Testteilnehmer ein Warm-Up von 20 Minuten. Anschliessend wurden die Tests in folgender Reihenfolge ausgeführt: SEBT klassisch (auf stabilem Untergrund), SEBT Airex (auf instabilem Untergrund), isokinetische Kraftmessung, Squat-Jump, Counter-Movement-Jump, Dotte-Balance-Test, Counter-Movement-Jump nach dem Ermüdungsprotokoll, Dotte-Balance-Test in ermüdetem Zustand, SEBT klassisch nach dem Ermüdungsprotokoll und SEBT Airex nach dem Ermüdungsprotokoll.

Aus Machbarkeitsgründen war es nicht möglich, beide Beine zu testen. Jeder Teilnehmer entschied subjektiv welches sein stärkeres Bein war, indem er 20 Sekunden lang mit geschlossenen Augen auf einem Bein stand.

3.4.1 Isokinetik

Die konzentrische Maximalkraft der Probanden wurde durch die isokinetische Kraftmessung bei einer Winkelgeschwindigkeit von 60°/Sek bestimmt. Der Test wurde für die Knieflexoren und -extensoren durchgeführt. Es wurden 2 Serien a 3 Wiederholungen zum Aufwärmen absolviert, um sich an die Maschine zu gewöhnen und den Lerneffekt zu vermindern. Beim Test wurden ebenso 2 Serien a 3 Wiederholungen durchgeführt.

Die isokinetische Kraftmessung basiert auf dem Manual „Leistungsdiagnostik Kraft“ von Swiss Olympic (Tschopp 2003).

Gütekriterien:

Der isokinetischen Messung wird generell eine gute Reliabilität attestiert: Brunner-Althaus und De Bruin 2006 fanden einen Intraclass-Korrelationskoeffizienten (ICC) zwischen 0.97 und 0.98 bei der oben genannten Geschwindigkeit.

Auswertungsparameter:

Folgende Parameter wurden für diese Studie benutzt: Maximales Drehmoment (Nm) und maximale Leistung (Watt/Kilogramm Körpergewicht) bei 60°/s.

3.4.2 Squat-Jump und Counter-Movement-Jump

Zur Evaluierung der Schnellkraft und Reaktivkraft wurden Sprungkrafttests auf der Kistler Sprungplatte durchgeführt. Einerseits der Squat-Jump (SJ) (Schnellkraft) und andererseits der Counter-Movement-Jump (CMJ) (Reaktivkraft). Beim CMJ ist der Proband auf die Wahrnehmung der Muskeldehnung und Gelenkstellung angewiesen. Der CMJ kann somit zugleich auch als ein geeigneter Test für die Evaluierung der Sensomotorik angesehen werden.

Jeder Teilnehmer absolviert 9 Sprünge: 3 Squat-Jumps, 3 Counter-Movement-Jumps und zum Schluss 3 Counter-Movement-Jumps nach dem Ermüdungsprotokoll.

Gütekriterien:

Dem SJ und CMJ wird generell eine gute Reliabilität attestiert. Markovic et al. 2004 finden einen Intraclass-Korrelationskoeffizienten (ICC) zwischen 0.97 und 0.98 bei den zwei oben genannten Sprüngen.

Auswertungsparameter:

Folgender Parameter wurde für diese Studie benutzt: Sprunghöhe (cm). Die Sprunghöhe wurde mit der SDS-Software (SDS Austria) berechnet.

3.4.3 Star Excursion Balance Test

Zur Erfassung der dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit wurde der Star Excursion Balance Test (SEBT) durchgeführt. Wir haben den SEBT für unsere Studie modifiziert. Nach den Studien von Hertel et al., 2006 und Robinson et al., 2008 haben wir den Test vereinfacht und massen nur 4 von 8 Richtungen (Anteromedial=AM, Medial=M, Posteromedial=PM und Posterolateral=PL). Um die Resultate zu normalisieren wurden die Messungen proportional zur Beinlänge (Distanz zwischen Spina Iliaca Anterior Superior und Zentrum des Malleolus lateralis) der Teilnehmer ausgewertet (Gribble et al., 2003).

Zusätzlich zum klassischen Standardtest wurde derselbe Test auf der Airex Matte durchgeführt (SEBT Airex). Dadurch wird die Schwierigkeit dieses Tests erhöht (Emery et al., 2003) und ist somit empfindlicher gegenüber Veränderungen.

Jeder Teilnehmer führte insgesamt 4-mal den SEBT durch (SEBT und SEBT Airex je einmal unermüdet und einmal nach dem Ermüdungsprotokoll). Jeder Teilnehmer hatte für die 4 Durchläufe jeweils 3 Versuche pro Richtung. Das beste Resultat zählte.

Gütekriterien:

Der SEBT Messung wird generell eine gute Reliabilität attestiert. Hertel et al., 2000 fanden einen Intraclass-Korrelationskoeffizienten zwischen 0.78 und 0.96 bei den 4 oben genannten Richtungen ($p < 0.05$). In unserer Studie fanden wir einen Intraclass-Korrelationskoeffizienten (ICC) zwischen 0.77 und 0.89 für den klassischen SEBT und

einen Intraclass-Korrelationskoeffizienten (ICC) zwischen 0.84 und 0.91 für den SEBT Airex.

Auswertungsparameter:

Folgende Parameter wurden für diese Studie benutzt: Erreichte Distanz (cm) im Verhältnis zur Beinlänge in Prozent.

Hertel et al., 2006 fand zwischen den vier verschiedenen Richtungen (AM, M, PM, PL) hohe Korrelationen, zwischen 0.70 und 0.87. Beim SEBT Airex fanden wir ebenfalls hohe Korrelationen, zwischen 0.71 und 0.84. Somit wurde für diese Studie der Summen-Score aller vier Richtungen verwendet.

3.4.4 Dotte-Balance-Test

Das statische Gleichgewicht wurde mit dem Dotte-Balance-Test ermittelt. Jeder Teilnehmer führte drei Versuche (12s/Versuch) durch, wobei der beste gewertet wurde. Der Test wurde dreimal im unermüdeten Zustand ausgeführt und einmal nach dem Ermüdungsprotokoll.

Gütekriterien:

In den drei Versuchen fanden wir einen Intraclass-Korrelationskoeffizienten (ICC) von 0.71.

Auswertungsparameter:

Folgende Parameter wurden für diese Studie benutzt: Root Mean Square (RMS) für die mediolaterale Beschleunigung in g ($= 9.81 \text{ m/s}^2$). Je tiefer das Resultat umso geringer die Beschleunigung und umso besser die Standstabilität.

3.4.5 Warm-Up

Das Aufwärmprotokoll wurde bei beiden Tests gleich gehandhabt; es dauerte 20 Minuten: 5 Minuten Ergometer (Borgskala 13-14), SEBT (3min), SEBT Airex (3min), Dotte Balance Test (3min), Squat-Jump (5 Sprünge) und Counter-Movement-Jump (5 Sprünge). Das Üben der Tests diente dazu, die Aufgaben zu erklären, den unmittelbaren Lerneffekt zu vermindern und war zugleich ein geeignetes Aufwärmprogramm.

Das Üben (4 Wiederholungen pro Richtung) des SEBT`s erlaubte den Teilnehmern bei Testbeginn ihre maximale Kapazität auszuschöpfen (Robinson et al., 2008).

Während dem Warm-Up wurden die Teilnehmer durch einen Sportphysiotherapeuten instruiert und von ihm betreut.

3.4.6 Ermüdungsprotokoll

Das Ermüdungsprotokoll beinhaltete eine isometrische Vorermüdung (20s Stuhlposition gegen die Wand mit 90° Knieflexion), gefolgt von 10 aneinander gereihten, maximalen Counter-Movement-Jumps.

Die isometrische Übung erlaubt ein schnelleres muskuläres Ermüden als auxotonische Übungen (Weineck 2007).

Die Sprünge wirken insbesondere auf folgende Muskelgruppen: Knie-, Hüft- und Rückenextensoren sowie Plantarflexoren. Es kommt zu einer Erhöhung der Herz- und Atemfrequenz. Dies entspricht einer realitätsnahen und somit funktionellen Ermüdung.

3.5 Tester

Die Tests wurden von Angestellten des Swiss Olympic Medical Center in Leukerbad durchgeführt, welche jahrelange Erfahrung in der Leistungsdiagnostik haben. Alle Tester sind gegenüber der Gruppenzugehörigkeit der Teilnehmer blindiert.

3.6 Statistische Analyse

Die erhobenen Daten wurden mit dem Softwarepaket SPSS Statistics 17.0 (SPSS, Inc., Chicago, USA) statistisch ausgewertet. Für die erhobenen Variablen wurden die üblichen Kennwerte der deskriptiven Statistik berechnet (Mittelwerte und Standardabweichung). Die Veränderungen und Differenzen innerhalb und zwischen den Gruppen wurden mit dem Mittelwert und den entsprechenden 95% Konfidenzintervallen (95% CI) angegeben (Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$).

Die meisten Variablen waren normalverteilt, jedoch nicht alle. Trotzdem entschieden wir uns aufgrund der grossen Unterschiede in den Ausgangswerten, eine parametrische Analyse durchzuführen, jeweils einmal ohne (T-Test) und einmal mit Kontrolle für die Ausgangswerte (Lineare Regression mit Differenz als abhängige Variable und Ausgangswert als Kovariable).

3.6.1 Berechnung Stichprobengrösse

Aus Machbarkeits- und Logistikgründen war es uns nicht möglich, mehr als 30 Teilnehmer für die Studie aufzunehmen. Dementsprechend haben wir keine Stichprobengrösse berechnet. Es handelt sich um eine Pilotstudie.

3.7 Ethik

Die Studie wurde von der Medizinisch-Ethischen Kommission des Kantons Wallis (MEKKW) genehmigt (CCVEM 046/08).

4. Fragestellung

Ist ein Training, in welchem auf die Kraftübung sofort eine sensomotorische Übung (KÜ-SMÜ Alternierend) folgt, effizienter im Hinblick auf die Verbesserung des Gleichgewichts, der Schnellkraft (SJ), der Reaktivkraft (CMJ) und der Maximalkraft (Isokinetik), als ein Training, in welchem zuerst sensomotorische Übungen durchgeführt werden und erst anschliessend die Kraftübungen (SMÜ-KÜ Getrennt)? Wie gross ist der Einfluss einer muskulären Ermüdung (Ermüdungsprotokoll) auf die Gleichgewichtsfähigkeit und die Reaktivkraft (CMJ) bei den beiden Gruppen, vor und nach der Trainingsintervention?

4.1 Detaillierte Fragestellung

1. Wie wirken unsere Trainingsinterventionen (KÜ-SMÜ Alternierend und SMÜ-KÜ Getrennt) auf die Verbesserung der dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit (SEBT Airex)?

- Hypothese: Wir erwarten, dass sich Gruppe **A** (KÜ-SMÜ Alternierend) stärker verbessert als Gruppe **G** (SMÜ-KÜ Getrennt).

2. Wie wirken unsere Trainingsinterventionen (KÜ-SMÜ alternierend und SMÜ-KÜ getrennt) auf die Verbesserung der statischen Gleichgewichtsfähigkeit (Dotte Balance Test)?

- Hypothese: Wir erwarten, dass sich Gruppe **A** (KÜ-SMÜ Alternierend) stärker verbessert als Gruppe **G** (SMÜ-KÜ Getrennt).

3. Wie wirken unsere Trainingsinterventionen (KÜ-SMÜ alternierend und SMÜ-KÜ getrennt) auf die Verbesserung der Reaktivkraft (CMJ)?

- Hypothese: Wir erwarten, dass sich Gruppe **A** (KÜ-SMÜ Alternierend) stärker verbessert als Gruppe **G** (SMÜ-KÜ Getrennt).

4. Wie stark ist der Einfluss einer muskulären Ermüdung (Ermüdungsprotokoll) auf die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit (SEBT Airex, SEBT), bei Gruppe A und G vor und nach den Trainingsinterventionen?

- Hypothese: Wir erwarten, dass der negative Einfluss der muskulären Ermüdung Gruppe A weniger stark beeinflusst.

5. Wie stark ist der Einfluss einer muskulären Ermüdung (Ermüdungsprotokoll) auf die statische Gleichgewichtsfähigkeit (Dotte Balance Test), bei Gruppe A und G vor und nach den Trainingsinterventionen?

- Hypothese: Wir erwarten, dass der negative Einfluss der muskulären Ermüdung Gruppe A weniger stark beeinflusst.

6. Wie stark ist der Einfluss einer muskulären Ermüdung (Ermüdungsprotokoll) auf die Reaktivkraft (CMJ) bei Gruppe A und G vor und nach den Trainingsinterventionen?

- Hypothese 6: Wir erwarten, dass der negative Einfluss der muskulären Ermüdung Gruppe A weniger stark beeinflusst.

7. Wie wirken unsere Trainingsinterventionen (KÜ-SMÜ alternierend und SMÜ-KÜ getrennt) auf die Verbesserung der Schnellkraft (SJ)?

- Hypothese: Wir erwarten in beiden Gruppen eine identische Verbesserung.

8. Wie wirken unsere Trainingsinterventionen (KÜ-SMÜ alternierend und SMÜ-KÜ getrennt) auf die Verbesserung der Maximalkraft (Isokinetik)?

- Hypothese: Wir erwarten in beiden Gruppen eine identische Verbesserung.

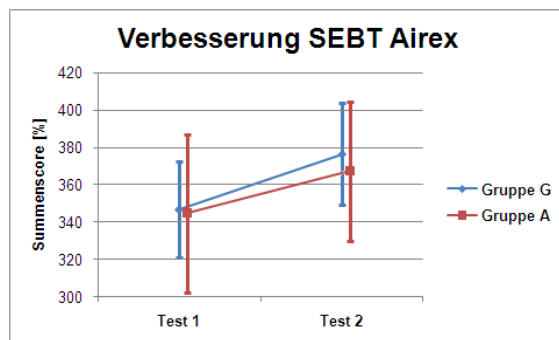
5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse Gleichgewichtsfähigkeit

5.1.1 SEBT Airex

Gruppe G (SMÜ-KÜ Getrennt) verbesserte sich um 29.84 Punkte (95% CI 20.69 bis 38.99) von 346.7 auf 376.5 (statistisch signifikant).

Gruppe A (KÜ-SMÜ Alternierend) verbesserte sich um 22.5 Punkte (95% CI 11.5 bis 33.5) von 344.9 auf 367.4 (statistisch signifikant).



Der Gruppenunterschied ist statistisch nicht signifikant (mittlere Differenz 7.34 Punkte (95% CI -6.27 bis 20.95) zugunsten von Gruppe G). Die mittlere Differenz, kontrolliert für den Ausgangswert ist 7.67 Punkte (95% CI -5.22 bis 20.55) zugunsten von Gruppe G.

Abb 8: Verbesserung SEBT Airex

Test 1 = vor Intervention; Test 2 = nach Intervention; Vertikale Linien = +/- Standardabweichung; Verbindungslinien zwischen den Mittelwerten = Progression

5.1.2 Dotte-Balance-Test

Gruppe G verbesserte sich um 0.08 g (95% CI 0.02 bis 0.14) von 0.11 auf 0.04 (statistisch signifikant).

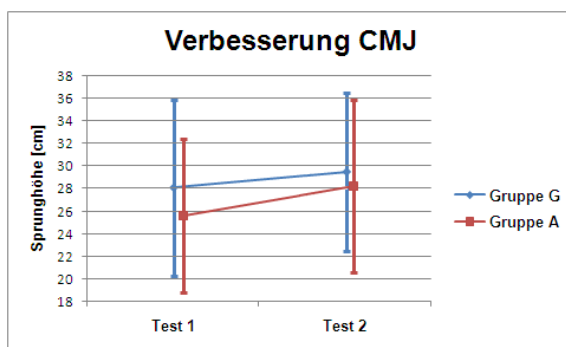
Gruppe A verbesserte sich um 0.10 g (95% CI 0.02 bis 0.19) von 0.15 auf 0.05 (statistisch signifikant).

Der Gruppenunterschied ist statistisch nicht signifikant (mittlere Differenz 0.02 g (95% CI -0.08 bis 0.12) zugunsten von Gruppe A). Die mittlere Differenz, kontrolliert für den Ausgangswert ist 0.02 g (95% CI -0.05 bis 0.02) zugunsten von Gruppe A.

5.2 Ergebnisse Counter-Movement-Jump

Gruppe G verbesserte sich um 1.43 cm (95% CI -0.72 bis 3.59) von 28.1 auf 29.5 (statistisch nicht signifikant).

Gruppe A verbesserte sich um 2.63 cm (95% CI 1.11 bis 4.16) von 25.6 auf 28.2 (statistisch signifikant).



Der Gruppenunterschied ist statistisch nicht signifikant (mittlere Differenz 1.20 cm (95% CI -1.31 bis 3.71) zugunsten von Gruppe A). Die mittlere Differenz, kontrolliert für den Ausgangswert ist 0.97 cm (95% CI -1.58 bis 3.51) zugunsten von Gruppe A.

Abb 9: Verbesserung CMJ

Test 1 = vor Intervention; Test 2 = nach Intervention; Vertikale Linien = +/- Standardabweichung; Verbindungslinien zwischen den Mittelwerten = Progression

5.3 Einfluss der muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit

5.3.1 SEBT Airex

Gruppe G (SMÜ-KÜ Getrennt) zeigte einen grösseren Einfluss der Müdigkeit zwischen t0 und t1 um 5.2 Punkte (95% CI: -8.4 bis 18.9) von 2.1 auf 7.3.

In Gruppe G gab es einen Outlier (Ausreisser) welcher sich unter Müdigkeit um 15 Punkte verbesserte bei t0. Wenn wir diesen ausschliessen, beträgt der Einfluss der Müdigkeit bei Gruppe G 0.9 Punkte (95% CI: -11.7 bis 9.9) von 4.1 auf 5.0.

Gruppe A (KÜ-SMÜ Alternierend) reduzierte der Einfluss der Müdigkeit um 3.5 Punkte (95% CI: -2.8 bis 9.7) von 5.1 (t0) auf 1.6 (t1).

Dieses Resultat entspricht unserer Hypothese (bessere Anpassung an die Müdigkeit bei Gruppe A) ist aber nicht statistisch signifikant.

5.3.2 SEBT

Gruppe G zeigte einen grösseren Einfluss der Müdigkeit zwischen t0 und t1 um 1.4 Punkte (95% CI -9.1 bis 12.0) von 2.5 auf 3.9.

Gruppe A reduzierte der Einfluss der Müdigkeit um 5.3 Punkte (95% CI -3.2 bis 13.8) von 6.2 (t0) auf 0.9 (t1).

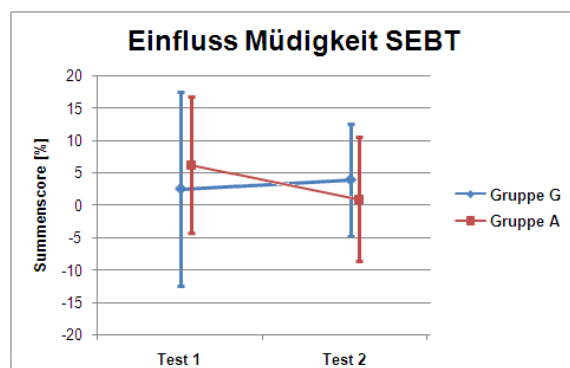


Abb 10: Einfluss der Müdigkeit auf den SEBT

Test 1 = vor Intervention; Test 2 = nach Intervention; Vertikale Linien = +/- Standardabweichung; Verbindungslinien zwischen den Mittelwerten = Progression

In der Verbesserung gab es keinen statistisch signifikanten Gruppenunterschied. Mittlere Differenz 6.8 Punkte (95% CI -6.1 bis 19.7) zugunsten von Gruppe A. Die mittlere Differenz, kontrolliert für den Ausgangswert ist 2.8 Punkte (95% CI - 4.6 bis 10.1) zugunsten von Gruppe A.

5.3.3 Dotte-Balance-Test

Gruppe G zeigte einen grösseren Einfluss der Müdigkeit zwischen t0 und t1 um 0.02 g (95% CI -0.04 bis 0.07) von 0.01 auf 0.03.

Gruppe A reduzierte der Einfluss der Müdigkeit um 0.01 g (95% CI -0.04 bis 0.07) von 0.02 bis 0.01.

Der Gruppenunterschied ist statistisch nicht signifikant (mittlere Differenz 0.03 g (95% CI -0.04 bis 0.11) zugunsten von Gruppe A). Die mittlere Differenz, kontrolliert für den Ausgangswert ist 0.01 g (95% CI -0.01 bis 0.02) zugunsten von Gruppe G.

5.4 Einfluss der muskulären Ermüdung auf den CMJ

Gruppe G (SMÜ-KÜ Getrennt) hatte einen grösseren Einfluss der Müdigkeit um 0.02 cm (95% CI -2.8 bis 2.8) von -2.4 auf -2.5.

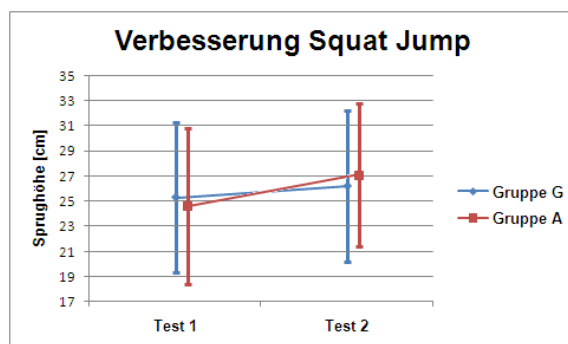
Gruppe A (KÜ-SMÜ Alternierend) reduzierte der Einfluss der Müdigkeit um 0.21 cm (95% CI -2.5 bis 3.0) von -1.5 auf -1.3.

Der Gruppenunterschied ist nicht signifikant. (mittlere Differenz 0.23 cm (95% CI -3.50 bis 4.00) zugunsten von Gruppe A). Die mittlere Differenz, kontrolliert für den Ausgangswert ist 1.1 cm (95% CI -1.84 bis 4.02) zugunsten von Gruppe A.

5.5 Ergebnisse Squat-Jump

Gruppe G verbesserte sich um 0.91 cm (95% CI -0.33 bis 2.14) von 25.3 auf 26.2 (statistisch nicht signifikant).

Gruppe A verbesserte sich um 2.55 cm (95% CI 1.51 bis 3.60) von 24.6 auf 27.1 (statistisch signifikant).



Der Gruppenunterschied ist statistisch signifikant (mittlere Differenz 1.64 cm (95% CI 0.11 bis 3.18) zugunsten von Gruppe A. Die mittlere Differenz, kontrolliert für den Ausgangswert ist 1.57 cm (95% CI 0.07 bis 3.07) zugunsten von Gruppe A) (statistisch signifikant).

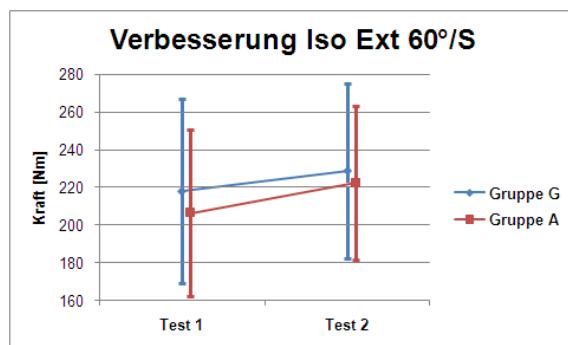
Abb 11: Verbesserung Squat Jump

Test 1 = vor Intervention; Test 2 = nach Intervention; Vertikale Linien = +/- Standardabweichung; Verbindungslinien zwischen den Mittelwerten = Progression

5.6 Ergebnisse Isokinetik

Gruppe G verbesserte den Kraftwert der Knieextension (60°/Sekunde) um 10.93 Nm (95% CI 1.91 bis 19.95) von 218.2 auf 229.2 (statistisch signifikant).

Gruppe A verbesserte sich den Kraftwert der Knieextension (60°/Sekunde) um 16.07 Nm (95% CI 4.38 bis 27.76) von 206.6 auf 222.7 (statistisch signifikant).



Der Gruppenunterschied ist statistisch nicht signifikant (mittlere Differenz 5.14 Nm (95% CI -8.91 bis 19.19) zugunsten von Gruppe A). Die mittlere Differenz, kontrolliert für den Ausgangswert ist 3.57 Nm (95% CI -9.99 bis 17.12) zugunsten von Gruppe A).

Abb 12: Verbesserung Maximalkraft Knieextension

Test 1 = vor Intervention; Test 2 = nach Intervention; Vertikale Linien = +/- Standardabweichung; Verbindungslinien zwischen den Mittelwerten = Progression

Gruppe G verbesserte den Kraftwert der Knieflexion (60°/Sekunde) um 7.86 Nm (95% CI 2.84 bis 12.88) von 127.5 auf 135.4 (statistisch signifikant).

Gruppe A verbesserte den Kraftwert der Knieflexion (60°/Sekunde) um 11.93 Nm (95% CI 6.63 bis 17.23) von 138.4 auf 150.4 (statistisch signifikant).

Der Gruppenunterschied ist statistisch nicht signifikant (mittlere Differenz 4.07 (95% CI -2.87 bis 11.02) zugunsten von Gruppe A. Die mittlere Differenz, kontrolliert für den Ausgangswert ist 3.95 Nm (95% CI -3.27 bis 11.16) zugunsten von Gruppe A).

6. Diskussion

Das Ziel dieser Studie war, zwei verschiedene sensomotorische Trainingsmodalitäten miteinander zu vergleichen. Folgende Fragen wurden von uns untersucht: (1) Ist ein SMT effizienter in der Verbesserung des Gleichgewichts und des CMJ (Reaktivkraft), wenn die Gleichgewichtsübungen unmittelbar nach einer Kraftübung ausgeführt werden? (2) Welchen Einfluss hat eine muskuläre Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit und den CMJ bei den beiden Gruppen, vor und nach der Trainingsintervention? (3) Wie stark ist die Entwicklung der Maximal- und Schnellkraft (SJ) in den beiden Gruppen?

Wir fanden heraus, (1) dass die Effizienz eines SMT's durch vorher ausgeführte Kraftübungen nicht signifikant beeinflusst wird. Die Gleichgewichtsfähigkeit hat sich nach den beiden verschiedenen Trainingsinterventionen in beiden Gruppen statistisch signifikant verbessert. Beim CMJ konnte sich nur Gruppe A (KÜ-SMÜ alternierend) statistisch signifikant verbessern. Der Gruppenunterschied ist allerdings statistisch nicht signifikant. (2) Die muskuläre Ermüdung beeinflusst die Gleichgewichtsfähigkeit in beiden Gruppen negativ, wenn auch nicht statistisch signifikant. Gruppe A konnte den negativen Einfluss der Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit nach der Trainingsintervention reduzieren, während bei Gruppe G der Einfluss gleich blieb. Der Gruppenunterschied ist zwar nicht statistisch signifikant, kann aber durchaus als praxisrelevant betrachtet werden. Auf die Sprunghöhe des CMJ's hatte die muskuläre Ermüdung in beiden Gruppen einen negativen, statistisch signifikanten Einfluss. Gruppe A konnte den Einfluss leicht reduzieren, während er bei der Gruppe G gleich blieb. Der Gruppenunterschied ist statistisch nicht signifikant.

(3) Die Entwicklung der Maximalkraft war in beiden Gruppen gleich. Die Teilnehmer konnten ihre Maximalkraft statistisch signifikant steigern. Beim SJ konnte sich nur Gruppe A signifikant verbessern und es gab einen signifikanten Gruppenunterschied.

6.1 Stärken unserer Studie

Unsere sensomotorische Trainingsgestaltung war noch nie Bestandteil einer wissenschaftlichen Untersuchung. Diese Studie hat zum ersten Mal Kraft und Sensomotorik innerhalb einer Trainingsintervention kombiniert. Dieses Trainingsmodell hat eine hohe Praxisrelevanz, da es in der täglichen Praxis häufig vorkommt, dass der Physiotherapeut mit seinen Patienten die Kraft, wie auch die Sensomotorik trainiert, um das Gleichgewicht, die Gelenkstabilität und die Schnellkraft zu verbessern. Durch eine vorhergehende Kraftübung wird die nachfolgende sensomotorische Übung erschwert. Diese Vorer müdung entspricht einer funktionellen, realitätsnahen Belastungssteigerung und zudem wird gleichzeitig auch spezifisch die Kraft trainiert.

Aufgrund seiner weit verbreiteten Akzeptanz gehört das sensomotorische Training in der Rehabilitation und Prävention von Verletzungen zu einem festen Bestandteil der Physiotherapie und ist mittlerweile auch bei vielen Athleten und Mannschaften zu einem wichtigen Teil des Trainings geworden. Trotzdem liegen bis heute keine wissenschaftlich abgesicherte Angaben zur Belastungsgestaltung von SMT vor.

In der wissenschaftlichen Literatur besteht ein Mangel an Studien, die sich mit der Belastungsdosierung von SMT auseinandersetzen. Unsere Studie liefert hierzu interessante Erkenntnisse.

Eine Stärke unserer Studie ist, dass verschiedene relevante Parameter für die Sensomotorik gemessen wurden. Dies erlaubte eine Betrachtung der Hypothesen von unterschiedlichen Blickwinkeln. Wir untersuchten unterschiedliche Aspekte der Kraft: Maximalkraft mittels isokinetischer Kraftmessung, Schnellkraft und Reaktivkraft bei den vertikalen Sprüngen. Auch für das Gleichgewicht konnten wir zwei unterschiedliche Aspekte darstellen: Das statische und das dynamische Gleichgewicht.

Die Trainings in unserer Studie wurden von uns persönlich durchgeführt. Somit konnten wir die Häufigkeiten der Teilnahme und das effektive Training aller Teilnehmer kontrollieren. Die Teilnahme war hoch, nur 12 Teilnehmer fehlten in einem Training und nur 1 Teilnehmer fehlte in zwei Trainings, was einer Präsenzquote von 94,4% entspricht. Ausserdem konnten wir die Qualität der Übungsdurchführung kontrollieren,

was besonders bei der Gruppe A, welche die sensomotorischen Übungen nach einer muskulären Vorermüdung durchführten relevant war.

6.2 Literatur

Es gibt nur wenige Studien, welche die Belastungsgestaltung von SMT untersucht haben. So beispielsweise bei Brand 2007, welcher eine sensomotorische Belastungsdauer von 30 Sekunden gegenüber 90 Sekunden miteinander verglichen hat, oder Gioftsidou et al., 2006 der ein SMT vor oder nach einem Fussballtraining auf seine Wirksamkeit hin untersuchte. Kidgell et al., 2007, Michell et al., 2006 und Dohm-Acker et al., 2008 untersuchten die Effizienz der Trainingsgestaltung von SMT über den Einsatz von verschiedenen Trainingsgeräten.

6.2.1 Trainingsgestaltung

Für die Quantifizierung des Trainingseffekts von SMT und die Überprüfung des dynamischen und statischen Gleichgewichts, setzen die meisten Autoren Standstabilitätstests ein. Oft wird die Standstabilität statisch im Einbeinstand erfasst (Emery et al., 2003, Brand 2007, Bruhn et al., 2004) und manchmal auch dynamisch, über eine bestimmte Bewegungsaufgabe, wie beim SEBT (Gribble et al., 2004).

Brand 2007 konnte in seiner Dissertation, in welcher er eine sensomotorische Belastungsdauer von 30 Sekunden mit einer Belastungsdauer von 90 Sekunden verglich, eine signifikante Verbesserung der Standstabilität feststellen. Der Trainingseffekt war allerdings gruppenübergreifend und es gab keinen gruppenspezifischen Unterschied. Die Standstabilität (statisches Gleichgewicht) wurde im Einbeinstand (40s) durch die Berechnung des Wackelwegs des Druckmittelpunktes ermittelt.

Die beiden unterschiedlichen Trainingsmodalitäten unserer Studie wirken hinsichtlich der Verbesserung der Standstabilität ebenfalls nahezu identisch. In beiden Gruppen kam

es zu einer signifikanten Verbesserung des statischen-, wie auch dynamischen Gleichgewichts.

Die Verbesserung der Standstabilität durch SMT (dynamisches wie auch statisches Gleichgewicht) wird von mehreren früheren Untersuchungen bestätigt (Holme et al., 2004, Gruber 2001, Bruhn et al., 2004, Yaggie et al., 2006, Kidgell et al., 2007, Hrysomallis 2008, Gribbel et al., 2004).

Die physiologische Erklärung für dieses Phänomen könnte, wie bereits in Kapitel 2.2.2 erwähnt, in dem gedämpften Reflexniveau liegen.

Gioftsidou et al., 2006 untersuchte ebenfalls zwei verschiedene Trainingsgestaltungen. Er verglich, ob ein SMT effektiver ist, wenn es unmittelbar vor oder nach einem Fussballtraining ausgeführt wird. Er fand eine stärkere Verbesserung bei der Gruppe, welche das SMT nach dem Fussballtraining ausgeführt hat und bezeichnet es als effektiver.

Für die Messung des Gleichgewichts benutzte er dieselben Instrumente, welche auch während der Trainingsphase zum Einsatz kamen. Dies waren drei verschiedene Balance Boards und das *Biodex Stability System* (frei schwingende Plattform in alle 3 Dimensionen). Auf den Balance Boards ermittelte er die Zeit, wie lange die Probanden das Gleichgewicht im Einbeinstand halten konnten, und das *Biodex System* berechnete den Wackelweg einer Plattform, welche in alle Richtungen frei beweglich war, ähnlich wie bei uns der Dotte-Balance-Test. Es ist allerdings nicht unproblematisch, diese Resultate auf unsere Studie zu übertragen, da die Korrelation zwischen verschiedenen Gleichgewichtstests oft schlecht ist. Die Gleichgewichtsfähigkeit ist funktionspezifisch und die Übertragbarkeit von sensomotorischen- auf andere Fähigkeiten ist bis heute nicht sicher geklärt (Laube 2008). Ein Skifahrer, welcher sich durch eine hohe Gleichgewichtsfähigkeit auf seinen Skiern auszeichnet, verfügt auf Schlittschuhen nicht zwangsläufig über die gleiche Fähigkeit.

Gioftsidou et al., 2006 beschreibt in seiner Studie nicht, was im Fussballtraining gemacht wurde und ob beide Gruppen dasselbe Fussballtraining durchgeführt haben. Hrysomallis 2008 konnte bei australischen Fussballprofis durch alleinige Fussballtrainings und Fussballmatches, ohne spezifisches Gleichgewichtstraining, keine

Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit feststellen. Somit scheint die Art des Fussballtrainings im Zusammenhang mit der Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit vermutlich keine Rolle zu spielen.

Die Aneignung einer koordinativen Aufgabe, wie zum Beispiel der Einbeinstand auf einer instabilen Unterlage, erfolgt im sensomotorischen Lernprozess (Laube 2008). In der Studie von Gioftsidou et al., 2006 scheint das vorher ausgeführte Fussballtraining einen positiven Einfluss auf den sensomotorischen Lernprozess der gestellten Gleichgewichtsaufgaben zu haben.

Leider gibt Gioftsidou et al, 2006 für die stärkere Verbesserung der Gruppe, welche das Gleichgewichtstraining nach dem Fussballtraining durchgeführt hat, keine physiologische Erklärung. Er stellt die Vermutung an, dass sich das Gleichgewicht besser anpasst, wenn vor dem Gleichgewichtstraining funktionelle Aufgaben (Fussballtraining) ausgeführt wurden. Er folgert, dass die Verbesserung des Gleichgewichts, im Zusammenhang zum gewählten Trainingszeitpunkt des SMT's, von Trainern und Rehabilitationsspezialisten in der Gestaltung ihres Trainings zur Kenntnis genommen werden sollte.

Wenn wir davon ausgehen, dass ein Fussballtraining keinen Einfluss auf die Gleichgewichtsfähigkeit hat (Hrysomallis 2008), könnte man auch spekulieren, dass die stärkere Verbesserung dank der Vorermüdung durch das Fussballtraining zustande kam. Da das SMT in einem ermüdeten Zustand ausgeführt wurde, kam es vermutlich während dessen zu einer stärkeren Rekrutierung der Muskulatur.

Die Resultate von Gioftsidou et al., 2006 stehen den unseren konträr gegenüber. In unserer Studie konnten wir keinen positiven Effekt auf die Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit durch die vorher ausgeführten Kraftübungen feststellen. Es ist allerdings nur bedingt möglich, die beiden Trainingsgestaltungen miteinander zu vergleichen. Gioftsidou definiert nicht, was im vorher ausgeführten Fussballtraining gemacht wurde. So ist es schwierig, einen Vergleich mit unseren vorher ausgeführten Kraftübungen anzustellen. Vermutlich führten unsere, unmittelbar vor der sensomotorischen Übungen ausgeführte Kraftübungen, zu einer stärkeren muskulären Vorermüdung als das Fussballtraining, welches nur zu einer geringen muskulären

Ermüdung führte (- 10%). Weiter ist es auch schwierig, die unterschiedlichen Populationen miteinander zu vergleichen. Wie dem auch sein mag, der sensomotorische Lernprozess wird bei unseren Probanden, durch die vorher ausgeführten Kraftübungen, weder positiv noch negativ beeinflusst.

Kidgell et al., 2007 verglich in seiner Studie ein Minitrampolin mit einem Dura Disc auf die Effizienz in der Verbesserung der Standstabilität bei Personen, die in den letzten zwei Jahren an einem Supinationstrauma litten. Sowohl die Minitrampolin-Gruppe wie auch die Dura-Disc-Gruppe konnten ihr statisches Gleichgewicht im Einbeinstand signifikant verbessern. Zwischen den beiden Gruppen gab es keinen Unterschied. Zum gleichen Resultat kommt auch Michell et al., 2006 der zwischen einer Gruppe, welche sensomotorische Übungen mittels Balance Schuhen ausübte und einer Gruppe, welche auf hartem Untergrund trainierte, keine Unterschiede bezüglich der Verbesserung der Standstabilität feststellen konnte.

Brand 2007 vermutet, dass gerade die Kombination verschiedener Trainingsmittel für ein koordinativ anspruchvolles und motivierendes SMT sinnvoll ist.

In den erwähnten Studien scheint sowohl die unterschiedliche Belastungsdauer (30s vs. 90s), (Brand 2007), die verschiedenen Trainingsmittel (Kidgell et al., 2007, Michell et al., 2006) wie auch unsere zwei Trainingsgestaltungen, hinsichtlich der Verbesserung der Standstabilität keine unterschiedliche Rolle zu spielen. Nur Gioftsidou et al., 2006 konnte eine stärkere Verbesserung des Gleichgewichts bei Fussballspielern finden, wenn das SMT nach dem Fussballtraining durchgeführt wurde.

In einem Interventionszeitraum von 6-8 Wochen kommt es vor allem zu neuronalen Anpassungen (Caroll et al., 2002). Diese sind höchstwahrscheinlich für die Verbesserung der Standstabilität verantwortlich und offensichtlich unabhängig von Belastungsintensität (Amacker et Meng 2009), Belastungsdauer (Brand 2007), und Trainingsmittel (Kidgell et al., 2007, Michell et al., 2006).

Dennoch wäre es zu früh, den Belastungsparametern die Relevanz für die Trainingsgestaltung abzusprechen, denn sie könnten in einer längeren

Trainingsintervention (8 Wochen und mehr) zu unterschiedlichen Anpassungen auf metabolischer und morphologischer Ebene führen. Dies war allerdings nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Beide Trainingsformen führten während unserer vierwöchigen Intervention nicht vorrangig zu morphologischen oder energetischen Anpassungserscheinungen, sondern verfolgten das Ziel, die neuromuskuläre Aktivierung zu optimieren. Sie sind daher beide primär als koordinative Massnahmen zu interpretieren.

6.2.2 Einfluss der muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit

Der Einfluss einer muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit wurde in mehreren Studien untersucht (Gribble et al., 2004 (1,2), 2007 (2), Yaggie und McGregor 2002, Vuillerme et al., 2002, Gioftsidou et al., 2006), allerdings ist uns keine Studie bekannt, welche dies vor und nach einer sensomotorischen Trainingsintervention analysierte.

In der Studie von Yaggie und McGregor führte die isokinetische Ermüdung der Plantarflexoren und Dorsalflexoren sowie Evetoren und Invetoren zu einer verminderten Standstabilität bei jungen Männern. Im einbeinigen Standstabilitätstest führte die Ermüdung zu einem erhöhten mediolateralen Wackelweg. Zu einem ähnlichen Resultat kommt auch Vuillerme et al., 2002, welcher die Standstabilität allerdings im Zweibeinstand untersuchte.

Gribble et al., 2004 (1) stellte in seiner Studie fest, dass nach einer isokinetischen Ermüdung der Knie- und Hüft-Extensoren und -Flexoren die Standstabilität (mediolateral) signifikant verschlechtert wird. Im Gegensatz zu einer Ermüdung der Plantar- und Dorsal-Flexoren und -Extensoren, welche nur zu einer geringen Verschlechterung der Standstabilität (statisches Gleichgewicht) führte. Er folgert, dass die Ermüdung der proximalen Muskulatur der unteren Extremitäten die Standstabilität stärker beeinflusst als die Ermüdung der distalen Muskulatur.

Auch auf die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit wurde der Einfluss der muskulären Ermüdung untersucht. Gribble et al., 2004 (2) stellte bei gesunden Leuten in

verschiedenen Ermüdungsprotokollen (Isokinetik für Hüfte, Knie und Fuss sowie Ausfallschritt) eine verminderte dynamische Gleichgewichtsfähigkeit (SEBT) fest. In seiner Studie von 2007 konnte er diese Erkenntnisse allerdings nicht bestätigen. Er fand nur bei Leuten mit instabilen Fussgelenken einen signifikanten Einfluss der muskulären Ermüdung auf die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit (SEBT), während dieser Einfluss bei gesunden Leuten statistisch nicht signifikant ausfiel.

Unser Ermüdungsprotokoll führte in unserem statischen Standstabilitätstest (Dotte-Balance-Test) wie auch im dynamischen Gleichgewichtstest (SEBT, SEBT Airex) zwar zu einer verschlechterten Standstabilität, jedoch ist die Verschlechterung erstaunlicherweise nicht statistisch signifikant. Im Vergleich zu den erwähnten Studien kann dies einerseits an dem anderen Test für die Quantifizierung des statischen Gleichgewichts (Dotte-Balance-Test), der unterschiedlichen Population oder dem anderen Ermüdungsprotokoll liegen. Unser Ermüdungsprotokoll führte vor allem zu einer muskulären Ermüdung der Knie- Extensoren und -Flexoren, sowie der Hüftextensoren und Plantarflexoren. Der Ermüdungsgrad wurde in unserer Studie allerdings durch keine Messung quantifiziert. Eine weitere Möglichkeit ist, dass die Ermüdung durch den unmittelbaren Lerneffekt kompensiert wurde. Die Trainingsmittel Dotte-Schaukel und Airex-Matte wurden allerdings während der fünfwöchigen Trainingsphase regelmässig eingesetzt, was im zweiten Test den Lerneffekt hätte ausschliessen sollen. Trotzdem hatte die Müdigkeit auch im zweiten Test keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Standstabilität.

Zur Untersuchung der dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit verwendete Gribble et al., 2004, 2007, zwar denselben Test wie wir. Allerdings stimmt nur eine der getesteten Richtungen (medial) mit unseren Richtungen überein, was aufgrund der hohen Korrelationen der verschiedenen Richtungen keine Rolle spielen sollte. Der genaue Grund für den geringen Einfluss unseres Ermüdungsprotokolls auf die Gleichgewichtsfähigkeit ist schwierig zu diskutieren.

Gioftsidou et al., 2006 untersuchte, ob unmittelbar nach einem Fussballtraining die Gleichgewichtsfähigkeit von Fussballspielern vermindert ist. Er fand heraus, dass es bei Fussballspielern nach einem Fussballtraining nicht zu einer Verminderung der Gleichgewichtsfähigkeit kommt.

Ein Fussballtraining kann auch als Ermüdung angesehen werden. Seine isokinetischen Messungen der Knieextensoren und Knieflexoren haben allerdings gezeigt, dass es nach einem Fussballtraining zu keiner beträchtlichen muskulären Ermüdung kommt (-10%), was der gute Erhalt der Gleichgewichtsfähigkeit erklären könnte.

Die meisten Verletzungen geschehen gegen Ende eines Fussballmatches oder eines Trainings und sind vermutlich unter anderem durch die Müdigkeit verursacht (Yaggie und McGregor et al., 2002, Gribble et al., 2004, Gioftsidou et al., 2006).

Gioftsidou et al., 2006 stellt aufgrund seiner gefundenen Resultate die Ursachen-Wirkungskette „Ermüdung, verminderte Gleichgewichtsfähigkeit, Instabilität und somit erhöhtes Verletzungsrisiko“ in Frage.

In unserer Studie konnte Gruppe A (KÜ-SMÜ alternierend) den negativen Einfluss der muskulären Ermüdung auf die statische- wie auch auf die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit reduzieren, während der Einfluss bei Gruppe G (SMÜ-KÜ getrennt) gleich blieb. Wenn wir davon ausgehen, dass die Gleichgewichtsfähigkeit durch die muskuläre Ermüdung beeinträchtigt wird (Gribble et al., 2004 (1,2), 2007 (2), Yaggie und McGregor 2002, Vuillerme et al., 2002), viele Verletzungen in ermüdetem Zustand geschehen (Yaggie und McGregor et al., 2002, Gribble et al., 2004, Gioftsidou et al., 2006) und die verminderte Gleichgewichtsfähigkeit zu einem grösseren Verletzungsrisiko führt (Brand 2007), kann dieses Resultat als praxisrelevant interpretiert werden.

Gioftsidou et al., 2006 gibt zu bedenken, dass es sich lohnen würde, in diesem Zusammenhang noch weitere Parameter, wie zum Beispiel die Schnellkraft oder die Reaktionszeit, zu untersuchen.

Wir stellten in unserer Studie eine signifikante Verschlechterung des CMJ's durch das Ermüdungsprotokoll fest. Der CMJ wird oft als Assessment für die Reaktiv- und Schnellkraft eingesetzt. In dieser Studie konnte Gruppe A (KÜ-SMÜ alternierend) den Einfluss der muskulären Ermüdung minimal reduzieren, während er bei Gruppe G (SMÜ-KÜ getrennt) gleich blieb. Dieser Gruppenunterschied ist statistisch allerdings nicht signifikant.

6.2.3 Counter-Movement-Jump, Squat-Jump und Maximalkraft

Es besteht eine starke Evidenz, dass SMT die physischen Leistungen, wie Maximal- und Schnellkraft, verbessert (Bruhn et al., 2006, Bruhn et al., 2004, Heitkamp et al., 2001, Taube et al., 2007, Wahl et al., 2008).

Gruber et al., 2004 konnte infolge von SMT eine Erhöhung der Kraftanstiegsrate und der neuromuskulären Aktivität beobachten, während Bruhn et al., 2004 nach einer vierwöchigen SMT Intervention eine Verbesserung bei Sprüngen (Drop Jump und Squat Jump) feststellte.

Die physiologische Erklärung von Bruhn für die Verbesserung der Drop Jumps, beruht auf der Sensibilisierung der Muskelspindel infolge von SMT. Diese führt zu einer erhöhten neuromuskulären Aktivität in der Vorbereitung der Muskulatur und schliesslich zu einer verstärkten Reflexaktivität (Bruhn et al., 2004).

Brand 2007 konnte in seiner Studie infolge von SMT keine Verbesserung der Voraktivierung der Muskulatur bei Landungen feststellen und erfasste nach der SMT-Intervention eine gesenkte Reflexaktivität. Er sieht den Grund hierfür nicht in der unterschiedlichen Gestaltung des SMT's, sondern im Unterschied der Aufgabe, in welcher die Reflexaktivität erhoben wurde. In seiner Studie simulierte er eine verletzungsbedrohliche Landung mit der Aufforderung, nach einem Sprung normal zu landen. Bruhn 2004 erfasste die neuromuskuläre Voraktivierung und die Reflexaktivität bei einem Drop Jump, wo die Aufgabe darin besteht, so schnell wie möglich und so hoch wie möglich abzuspringen. Brand interpretiert, dass das neuromuskuläre System nicht nur aufgabenspezifisch agiert, sondern sich auch aufgabenspezifisch an das Training adaptiert.

In unserer Studie kam es bei beiden Gruppen zu einer signifikanten Steigerung der Maximalkraft. Da wir sensomotorische Übungen wie auch Kraftübungen ausführten, können wir nicht sagen, welche der beiden Übungen für die Anpassung verantwortlich war. Beim CMJ konnte sich nur Gruppe A statistisch signifikant verbessern. Ob diese Verbesserung dank dem intensiveren SMT und der damit stärkeren Sensibilisierung der Muskelspindel zustande kam, oder einfach nur wegen dem tieferen Ausgangsniveau, ist

reine Spekulation. Tatsache ist, dass der Gruppenunterschied statistisch nicht signifikant ist. Beim SJ konnte sich auch nur Gruppe A signifikant verbessern und es gibt einen signifikanten Gruppenunterschied. Bei der Schnellkraft erwarteten wir aufgrund unserer Trainingsintervention einen identischen Trainingseffekt. Ob es durch die muskuläre Vorermüdung zu einer intensiveren Belastung der schnellen Muskelfasern während der SMÜ kam und somit zu einer stärkeren Schnellkraft-Entwicklung, ist ebenfalls nur Spekulation. Da sich bei den Sprüngen allerdings nur die Gruppe A statistisch signifikant verbessern konnte, liegt die Vermutung nahe, dass die Trainingsintervention (KÜ-SMÜ alternierend) die inter- und intramuskuläre Koordination stärker förderte und die Kraft innerhalb von Sprüngen besser umgesetzt werden konnte. Vermutlich waren die Sprungtests, im Vergleich zu den Gleichgewichtstests, empfindlicher auf Veränderung innerhalb der beiden Trainingsgruppen.

6.3 Bedeutung für die Praxis

Im Gegensatz zur weit verbreiteten Meinung, dass SMT nur in unermüdetem Zustand ausgeführt werden darf, konnten wir zeigen, dass SMT unter Berücksichtigung der Bewegungsqualität auch nach einer Vorermüdung ausgeführt werden kann. Die beiden Gruppen zeigten hinsichtlich der Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit und der Maximalkraft identische Verbesserungen. Es liegt in der Kompetenz des Therapeuten und des Trainers, die individuelle Bewegungsqualität und Bewegungskontrolle zu kontrollieren und gegebenenfalls die Übung abubrechen und eine Pause zu gewähren. Die Tatsache, dass die Gruppe, welche die sensomotorischen Übungen nach einer Vorermüdung (Kraftübung) ausgeführt hat, und somit den negativen Einfluss der muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit reduzieren konnte, sollte von Trainern und Rehabilitationsspezialisten trotz der fehlenden Signifikanz zur Kenntnis genommen werden.

Für die Trainingsintervention (KÜ-SMÜ alternierend) spricht auch, dass sich nur die Gruppe A in den Sprüngen statistisch signifikant verbessern konnte. Die verbesserte intra- und intermuskuläre Koordination und somit die bessere Umsetzung der Kraft, innerhalb der Sprünge, ist vermutlich hierfür verantwortlich.

6.4 Bedeutung für die Forschung

Trotz der fehlenden statistisch signifikanten Resultate wäre es zu früh, den Belastungsparametern die Relevanz für die Trainingsgestaltung abzusprechen. Denn sie könnten in einer längeren Trainingsintervention (8 Wochen und mehr) zu unterschiedlichen Anpassungen auf metabolischer und morphologischer Ebene führen. Unsere Studie zeigt, dass die Gruppe A (KÜ-SMÜ alternierend) den negativen Einfluss der muskulären Ermüdung reduzieren konnte, während er in der Gruppe G (SMÜ-KÜ getrennt) gleich blieb. Aufgrund dieser Tatsache wäre es interessant, in diese Richtung weiter zu forschen und die Trainingsintervention anhand einer grösseren und homogenen Gruppe zu untersuchen.

Dem SMT wird, unabhängig von der Belastungsgestaltung, eine verletzungsprophylaktische Wirkung zugeschrieben. Daher können wir in beiden Gruppen von einer geringeren Verletzungsinzidenz ausgehen. Da die Gruppe A den negativen Einfluss der muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit nach der Trainingsintervention etwas reduzieren konnte, wäre es interessant zu beobachten, ob bei einer Follow-Up-Untersuchung bei Gruppe A eine geringere Verletzungsinzidenz nachgewiesen werden könnte.

Um die Frage nach der Trainingssteuerung von SMT beantworten zu können, muss vermutlich zuerst die Frage: „Wie und wieso wirkt SMT verletzungsprophylaktisch?“ beantwortet werden können. Solange der physiologische Anpassungseffekt für die verletzungsprophylaktische Wirkung von SMT nicht bestimmt werden kann, ist es schwierig, sensomotorische Trainingshinweise zur Belastungsgestaltung von SMT zu geben. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, ob die Standstabilitätstests die richtigen Assessments sind, um den Trainingseffekt von SMT zu quantifizieren.

6.5 Limitationen

Obwohl alle Probanden mehr oder weniger sportlich waren, gab es eine grosse Heterogenität bezüglich ihres sportlichen Niveaus. Aus diesem Grund war es vermutlich schwierig, einen signifikanten Gruppenunterschied nach den beiden Trainingsinterventionen zu finden. Die Progression der Teilnehmer variiert extrem. Jeder befindet sich an einem anderen Ort der Trainingsverlaufskurve. Es gab Teilnehmer, welche sich bereits über Jahre sportlich betätigten, während andere erst seit kurzem regelmässig Sport treiben. Weiter gab es Probanden, welche eher aus einer Ausdauersportart kommen und andere, die eine Mannschaftssportart ausüben. Wir konnten einen grossen Unterschied in der Bewegungserfahrung der Teilnehmer beobachten. Somit kam es, dass schwächere Probanden grosse Fortschritte gemacht haben und ein gut trainierter Sportler nur wenig Steigerung aufwies. Es wäre von Vorteil gewesen, die Trainingsinterventionen innerhalb einer Sportmannschaft auszuführen, welche über ein homogeneres Sportniveau verfügt.

Aufgrund der grossen Teilnehmer-Heterogenität wäre ein individuelles Training angebracht gewesen, was in unserer Studie nur bedingt möglich war.

Da sich die beiden Trainingsinterventionen nur wenig unterscheiden, sahen wir eine kleine Differenz zwischen den beiden Gruppen voraus. Wir hätten eine grössere Anzahl Teilnehmer auswerten müssen, um signifikante Gruppenunterschiede zeigen zu können. Auch eine längere oder unterschiedlichere Trainingsintervention wäre vorstellbar gewesen.

Zu unserem Erstaunen hatte unser Ermüdungsprotokoll auf keinen der Gleichgewichtstests einen signifikanten Einfluss. Aus diesem Grund war es natürlich schwierig, einen signifikant unterschiedlichen Einfluss der muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit festzustellen. Es ist möglich, dass unser Ermüdungsprotokoll zu einfach war.

7. Schlussfolgerung

Die Trainingsintervention „KÜ-SMÜ alternierend“ konnte den negativen Einfluss der muskulären Ermüdung auf die Gleichgewichtsfähigkeit reduzieren. Wenn man davon ausgeht, dass eine verminderte Gleichgewichtsfähigkeit zu einem grösseren Verletzungsrisiko führt, die Gleichgewichtsfähigkeit durch die muskuläre Ermüdung negativ beeinflusst wird und die meisten Verletzungen in ermüdetem Zustand geschehen, kann dieses Resultat trotz der fehlenden Signifikanz durchaus als praxisrelevant angesehen werden.

Im Gegensatz zur weit verbreiteten Meinung, dass SMT nur in unermüdetem Zustand ausgeführt werden darf, zeigt diese Studie, dass SMT unter Berücksichtigung der Bewegungsqualität durchaus auch nach einer Vorermüdung ausgeführt werden kann. Wir stellten einen gruppenübergreifenden statistisch signifikanten Trainingseffekt bezüglich Gleichgewichtsfähigkeit und Maximalkraft fest.

Entgegen unserer Erwartung hatte das Ermüdungsprotokoll keinen signifikanten Einfluss auf die Gleichgewichtsfähigkeit. Somit war es schwierig, einen statistisch signifikanten Gruppenunterschied bezüglich des Einflusses der Müdigkeit auf die Gleichgewichtsfähigkeit zu finden.

Da nur die Trainingsintervention „KÜ-SMÜ alternierend“ zu einer statistisch signifikanten Steigerung der Sprünge (SJ, CMJ) geführt hat, kann diese Trainingsintervention gegenüber der Trainingsintervention „SMÜ-KÜ getrennt“ vorgezogen werden.

Vor diesem Hintergrund und trotz fehlender statistischer Signifikanz, kann die Trainingsempfehlung gegeben werden, sensomotorische Übungen unter Berücksichtigung der Bewegungsqualität ebenfalls in ermüdetem Zustand auszuführen, um auch unter muskulärer Ermüdung die Gleichgewichtsfähigkeit aufrecht zu erhalten und somit das Verletzungsrisiko zu vermindern.

8. Bibliographie

Aagaard P. (et al.). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*, 2002. 93: 1318-1326

Aagaard P. (et al.). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol*, 2000. 89: 2249-2257

Anderson K., Behm D. The impact of Instability Resistance Training on Balance and Stability. *Sports Med*, 2005. 35(1): 43-53

Ashton-Miller J. (et al.). Can proprioception really be improved by exercises ? *Knee Surg, Sports Traumatol, Arthrosc*, 2001. 9: 128-136

Behm D., Anderson K. The Role of Instability With Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2006. 20(3): 716-722

Bizzini M. Sensomotrische Rehabilitation nach Beinverletzung. *Stuttgart: Thieme-Verlag*, 2000

Bressel E. (et al.). Comparison of Static and Dynamic Balance in Female Collegiate Soccer, Basketball, and Gymnastics Athletes. *Journal of Athletic Training*, 2007. 42(1): 42-46

Brown C., Mynark R. Balance Deficits in Recreational Athletes with Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, 2007. 42(3): 367-373

Bruhn S. (et al.). Combinatory Effects of High-Intensity-Strength Training and Sensorimotor Training on Muscle Strength. *Int J Sports Med*, 2006. 27: 401-406

Bruhn S. (et al.). The Effects of a Sensorimotor Training and a Strength Training on Postural Stabilisation, Maximum Isometric Contraction and Jump Performance. *Int J Sports Med*, 2004. 25: 56-60

Bruhn S. Sensomotorisches Training und Bewegungskoordination. *Habilitationsschrift* 2003

Brand S. Funktionelle Anpassung der sprunggelenkumgreifenden Muskulatur an ein differenziertes sensomotorisches Training zur Prophylaxe von Sprunggelenkverletzungen. *Dissertation* 2007

Brunner-Althaus C., De Bruin E. Die Zuverlässigkeit des isokinetischen Knie Kurzprotokolls von Swiss Olympic. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 2006. 54: 96-100.

Caraffa A. (et al.) Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1996; 4(1):19-21

Carroll T. (et al.). Neural Adaptations to Resistance Training. *Sports Med*, 2001. 31(12): 829-840

Carroll T. (et al.). Resistance training enhances the stability of sensorimotor coordination. *Proc. R. Soc. Lond.* 2001. 268: 221-227

Dohm-Acker M. (et al.). Auswirkung propriozeptiver Trainingsgeräte auf beteiligte Muskulatur im Einbeinstand. *Sportverl Sportschad*, 2008. 22: 52-57

Emery CA. Is there a clinical standing balance measurement appropriate for use in sports medicine? A review of the literature. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2003. 6(4): 492-504

Flanagan P. (et al.). Reliability of the reactive Strength Index and Time to Stabilization during Depth Jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2008. 22: 1677-1682

Folland J., Williams A. The Adaptations to Strength Training: Morphological and Neurological Contributions to Increased Strength. *Sports Med*, 2007. 37(2): 145-168

Gabriel D., Kamen G., Frost G. Neural Adaptations to Resistive Exercise: Mechanisms and Recommendations for Training Practices. *Sports Med*, 2006. 36(2): 133-149

Gioftsidou A. (et al.). The effects of soccer training and timing of balance training on balance ability. *Eur J Appl Physiol*, 2006. 96: 659-664

Goodman C. (et al.). No Difference in 1RM Strength and Muscle Activation During the Barbell Chest Press on a Stable and Unstable Surface. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2008. 22(1): 88-94

Greig M., Siegler J.C. Soccer-Specific Fatigue and Eccentric Hamstrings Muscle Strength. *Journal of Athletic Training*, 2009. 44(2): 180-184

Gribble P. (et al.). Chronic Ankle Instability and Fatigue Create Proximal Joint Alterations during Performance of the Star Excursion Balance Test. *Int J Sports Med*, 2007(2). 28: 236-242

Gribble P. (et al.). Time-of-Day Influences on Static and Dynamic Postural Control. *Journal of Athletic Training*, 2007(1). 42(1): 35-41

Gribble P. (et al.) The Effects of Fatigue and Chronic Ankle Instability on Dynamic Postural Control. *Journal of Athletic Training*, 2004(2). 39(4): 321-329

Gribble P., Hertel J. Effect of Lower-Extremity Muscle Fatigue on Postural Control. *Arch Phys Med Rehabil*, 2004(1). 85: 589-592

Gribble P., Hertel J. Considerations for Normalizing Measures of the Star Excursion Balance Test. *MEASUREMENT IN PHYSICAL EDUCATION AND EXERCISE SCIENCE*, 2003. 7(2): 89-100

Grosser M., Starischka S. Das neue Konditionstraining für alle Sportarten, für Kinder, Jugendliche und Aktive. *München: BLV Verlagsgesellschaft GmbH*, 1998

Gruber M., Gollhofer A. Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol*. 2004. 92: 98-105

Gruber M. Die neuromuskuläre Kontrolle des Kniegelenks vor und nach einem spezifischen sensomotorischen Training beim unverletzten Sportler. *Universität Stuttgart*, 2001

Heitkamp H.-C. (et al.). Gain in Strength and Muscular Balance After Balance Training. *Int J Sports Med*, 2001. 22: 285-290

Hertel J. (et al.). Simplifying the Star Excursion Balance Test: Analyses of Subjects With and Without Chronic Ankle Instability. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2006. 36(3): 131-137

Hertel J. Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *J Athl Train*, 2002. 37: 364-375

Hertel J. (et al.). Intratester and Intertester reliability during the star excursion balance test. *J Sport Rehabil*, 2000. 9: 104-116

Holm I. (et al.). Effect of Neuromuscular Training on Proprioception, Balance, Muscle Strength, and Lower Limb Function in Female Team Handball Players. *Clin J Sport Med*, 2004. 14: 88-94

Hurley M (et al.). Quadriceps function, proprioceptive acuity and functional performance in healthy young, middle-aged and elderly subjects. *Age and Ageing*, 1998. 27: 55-62

Hrysomallis C. Relationship between balance ability, training and sports injury risk. *Sports Medicine*, 2007. 37(6): 547-556

Hrysomallis C. Preseason and Midseason Balance Ability of Professional Australian Footballers. *Journal of strength and conditioning research*. 2008. 22(1): 210-211

Jerosch J (et al.) Effects of a proprioceptive training program on sensorimotor capacities of the lower extremity in patients with anterior cruciate ligament instability. *Sportverletz Sportschaden*. 1998 Dec; 12(4):121-30.

Kidgell D. (et al.). Effect of six weeks of dura-disc and mini-trampoline balance training on postural sway in athletes with functional ankle instability. *Journal of strength and conditioning research*. 2007. 21(2): 466-469

Kinzey S., Armstrong C. The reliability of the star-excursion test in assessing dynamic balance. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1998. 27: 356-360

Laube W., Bertram A.M. Sensomotorische Koordination. *Stuttgart: Thieme-Verlag*, 2008

Laube W. Das sensomotorische System, die Bewegungsprogrammierung und die sensomotorische Koordination beim Gesunden und Verletzten. *Österr Z Phys Med Rehabil*, 2004. 14(1): 35-49

Laube W., Hildebrandt H.-D. Auswirkungen einer defizitären Propriozeption auf die Bewegungsprogrammierung-koordinative Aspekte nach Kniegelenkverletzung und bei Rückenpatienten. *Orthopädie-Technik*, 2000. 6: 534-550

Maffiuletti N. A. (et al.). Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2007. 27: 346-353

Markovic G. (et al.). Reliability and Factorial Validity of Squat and Countermovement Jump Tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2004. 18(3): 551-555

Mattacola C., Lloyd J. Effects of a 6-Week Strength and proprioception Training Program on Measures of Dynamic Balance: A Single Case Design. *Journal of Athletic Training*, 1997. 32(2): 127-135

Michell T.B. (et al.). Functional Balance Training, With or Without Exercise Sandals, for Subjects With Stable or Unstable Ankle. *Journal of Athletic Training*, 2006. 41(4): 393-398

Muaidi Q. (et al.). Proprioceptive Acuity in Active Rotation Movements in Healthy Knees. *Arch Phys Med Rehabil*, 2008. 89: 371-376

Myer G. (et al.). The Effects of Plyometric vs. Dynamic Stabilization and Balance Training on Power, Balance, and Landing Force in Female Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2008. 22(1): 119-127

Olmsted L. (et al.). Efficacy of the Star Excursion Balance Tests in Detecting Reach Deficits in Subjects with Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, 2002. 37(4): 501-506

Riemann B., Lephart S. The Sensorimotor System, Part I: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. *Journal of Athletic Training*, 2002. 37(1): 71-79

Riemann B., Lephart S. The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability. *Journal of Athletic Training*, 2002. 37(1): 80-84

Riemann B., Myers J., Lephart S. Sensorimotor System Measurement Techniques. *Journal of Athletic Training*, 2002. 37(4): 386-393

Riemann B. Is There a Link Between Chronic Ankle Instability and Postural Instability? *Journal of Athletic Training*, 2002. 37(1): 85-98

Risberg M. (et al.). Neuromuscular Training Versus Strength Training During First 6 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Clinical Trial. *Physical Therapy*, 2007. 87(6): 737-750

Robinson R., Gribble P. Support for a Reduction in the Number of Trials Needed for the Star Excursion Balance Test. *Arch Phys Med Rehabil*, 2008. 89: 364-370

Ross S. (et al.). Assessment Tools for Identifying Functional Limitations Associated with Functional Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*, 2008. 43(1): 44-50

Schnabel G. (et al.). Trainingslehre-Trainingswissenschaft, Leistung-Training-Wettkampf. Aachen: Meyer & Meyer Verlag, 2008

Spring H. (et al.). Theorie und Praxis der Trainingslehre, 2., unveränderte Auflage. Stuttgart: Thieme-Verlag, 2005

Söderman K (et al.) Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000. 8(6):321

Solomonow M., Krogsgaard M. Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports*, 2001. 11: 64-80

Taube W. (et al.). Differential Reflex Adaptations Following Sensorimotor and Strength Training in Young Elite Athletes. *Int J Sports Med*, 2007. 28: 999-1005

Tschopp M. Manual Leistungsdiagnostik: Kraft. *Qualitätsentwicklung Swiss Olympic*, 2003

Verhagen E. (et al.). The effect of balance training programme on centre of pressure excursion in one-leg stance. *Clinical Biomechanics*, 2005. 20: 1094-1100

Vuillerme N. (et al.). Attentional demands and postural sway: the effect of the calf muscles fatigue. *Med Sci Sports Exerc*, 2002. 34: 1907-1912

Wahl M., Behm D. Not All Instability Training Devices Enhance Muscle Activation in Highly Resistance-Trained Individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2008. 0(0): 1-11

Weineck J. Optimales Training, 15. Auflage. *Balingen: Spitta-Verlag*, 2007

Wikstrom E. (et al.). Dynamic Stabilization Time after Isokinetic and Funktional Fatigue. *Journal of Athletic Training*, 2004. 39(3): 247-253

Yaggie J., Mc Gregor J. Effects of Isokinetic Ankle Fatigue on the Maintenance of Balance and Postural Limits. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002. 83: 224-228

Yaggie J., Campbell B. Effects of Balance Training on Selected Skills. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2006. 20(2): 422-428

9. Anhang

9.1 Einverständniserklärung

Schriftliche Einverständniserklärung der Versuchsperson zur Teilnahme an einem klinischen Versuch

- Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch.
- Bitte fragen Sie, wenn Sie etwas nicht verstehen oder wissen möchten.

Angaben zum klinischen Versuch

Titel : Kraft und Sensomotorik: Optimale Kombination für Therapie und Training

Nummer :

Ort : Leukerbad

Prüfer: Jonas Meng, Alain Amacker

Versuchsperson, Name und Vorname:

Geburtsdatum (fakultativ):

Geschlecht (fakultativ):

Erklärung

- Ich wurde vom unterzeichnenden Prüfer mündlich und schriftlich über die Ziele, den Ablauf des klinischen Versuchs, über die zu erwartenden Wirkungen, die möglichen Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.
- Ich wurde über mögliche andere Behandlungen und Behandlungsverfahren aufgeklärt.
- Ich habe die schriftliche Information für Versuchspersonen [*allenfalls*: zum oben erwähnten Versuch] vom [Datum] gelesen und verstanden. Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an diesem klinischen Versuch sind mir zufriedenstellend beantwortet worden. Ich erhalte eine Kopie meiner schriftlichen Einverständniserklärung zusammen mit der Information für Versuchspersonen.
- Ich hatte genügend Zeit, um meine Entscheidung zu treffen.
- Ich bin darüber informiert, dass ich von der [Name des Sponsors] für allfällige Schäden, die ich gegebenenfalls im Zusammenhang mit dem klinischen Versuch erleide, entschädigt werde.
[*falls zutreffend*] Ich wurde aufgeklärt, dass zu diesem Zweck die/der [Name des Sponsors / Name des Versicherungsnehmers] eine Versicherung bei [Name der Versicherungsgesellschaft] abgeschlossen hat.
- Ich bin einverstanden, dass die zuständigen Fachleute von [Name des Sponsors] sowie Vertreter der Gesundheitsbehörden und der Ethikkommissionen zu Prüf- und Kontrollzwecken Einsicht in meine medizinischen Daten nehmen dürfen. Dabei wird die Vertraulichkeit dieser Daten strikt gewahrt.
- Ich nehme an diesem klinischen Versuch freiwillig teil. Ich kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme widerrufen, ohne dass mir deswegen Nachteile bei der weiteren medizinischen Betreuung entstehen. In diesem Fall werde ich zu meiner Sicherheit abschliessend medizinisch untersucht.
- Ich bin mir bewusst, dass während des klinischen Versuchs die in der Information für Versuchspersonen genannten Anforderungen und Einschränkungen einzuhalten sind. Im Interesse meiner Gesundheit kann mich der Prüfer jederzeit vom klinischen Versuch ausschliessen. Zudem orientiere ich den Prüfer über die gleichzeitige Behandlung bei einem anderen Arzt sowie über die Einnahme von Medikamenten (vom Arzt verordnete oder selbstständig gekaufte).

Ort, Datum	Unterschrift der Versuchsperson	
Ort, Datum	Name des Prüfers in Blockschrift Jonas Meng	Unterschrift des Prüfers
Ort, Datum	Name des Prüfers in Blockschrift Alain Amacker	Unterschrift des Prüfers

9.2 Studien Informationsblatt

Jonas Meng, Alain Amacker
3954 Leukerbad

Leukerbad, le 19 juillet 2008

Informationen für die Studienteilnehmer und Teilnehmerinnen

Kraft und Sensomotorik: optimale Kombination für Therapie und Training.

Guten Tag,

Wir laden euch herzlich ein, an unserer Studie teilzunehmen. Ihre mögliche Teilnahme ist freiwillig. Nachdem wir euch mündlich über den Studienablauf informiert haben, nun schriftlich die wichtigsten Informationen. Wir bitten Sie, diese Informationen zu lesen. Im Falle von Unklarheiten oder Unverständnis können Sie uns jederzeit Fragen stellen.

Studienbeschreibung

Krafttraining und Gleichgewicht sind zwei wichtige Gebiete in der Rehabilitation, wie auch im Training des Sportlers. In beiden Gebieten existieren viele Studien. Allerdings gibt es keine präzise Literatur wie man die beiden Trainingsformen optimal miteinander kombiniert.

Aus diesem Grund scheint es uns interessant und wichtig in diesem Gebiet zu forschen.

Mit dieser Studie möchten wir folgende Frage beantworten können:

Was ist effizienter? Ein kombiniertes Training von Gleichgewicht und Kraft, in Bezug auf die Verbesserung von Maximalkraft, Schnellkraft und Gleichgewicht, oder ein getrenntes Training von diesen zwei Parametern?

Die Studie wie auch die dazu gehörenden Tests werden in der Rheumaklinik von Leukerbad realisiert.

Auswahl der Teilnehmer/innen

Um an dieser Studie teilzunehmen müssen Sie mindesten 18 jährig sein, in den letzten zwei Jahren nicht an einer schwerwiegenden Verletzung der unteren Extremität gelitten haben und fähig sein Sprünge auszuüben.

Freiwillige Teilnahme

Ihre Teilnahme an dieser Studie ist völlig freiwillig. Ihr könnt während der ganzen Studie, zu jederzeit und ohne Begründung aussteigen.

Studienablauf

Die Studie findet während einer Zeitspanne von 6 Wochen statt. Nachdem ihr die Einverständniserklärung unterschrieben habt, werdet ihr in zwei Gruppen aufgeteilt. Anschliessend werdet ihr in der Rheumaklinik von Leukerbad einen physischen Test absolvieren, wobei ihre Maximalkraft, Schnellkraft (Sprungplattform) und ihr Gleichgewicht im Einbeinstand auf einer weichen Matte gemessen wird. Der Test dauert ca. 1 Stunde und findet in der ersten Woche statt.

Während den Wochen 2-5 nehmt ihr zweimal pro Woche an einem Kraft und Gleichgewichtstraining teil, welches ca. 45min dauert und von einem Physiotherapeuten geleitet wird.

In der Woche 6 macht ihr die gleichen Tests, die ihr in der ersten Woche gemacht habt.

Ziele und Risiko der Studie

Dank ihrer Teilnahme ermöglichen Sie uns die Wirksamkeit dieser zwei Trainingsprogramme miteinander zu vergleichen.

Diese Studie ist kein Risiko für ihre Gesundheit. Die Trainingseinheiten können zu einer gewissen Müdigkeit, Muskelkater, Gelenkschmerzen und Sehnenentzündungen führen.

Die Risiken sind nicht höher als bei einer durchschnittlichen physischen Aktivität. Alle Trainingseinheiten und Übungen werden von einem Physiotherapeuten geleitet und überwacht.

Neue Erkenntnisse

Die Studienverantwortlichen informieren Sie, wenn nötig über die neuen wissenschaftlichen Ergebnisse, welche die Effekte oder die Sicherheit der Studie beeinflussen.

Vertraulichkeit der Daten

Alle uns persönlich mitgeteilten Daten während der Studie werden anonym, vertraulich und nur von den Studienverantwortlichen behandelt.

Entschädigung

Für die Teilnahme an unserer Studie, werden Sie nicht entschädigt. Die Teilnahme an der Studie ist für Sie kostenlos.

Versicherung

Während der Therapie sind Sie versichert.

Kontaktperson

Für allfällige Fragen während der Studie können Sie jederzeit mit der unten genannten Person Kontakt aufnehmen.

Jonas Meng für die deutsch Sprechenden, Alain Amacker für die französisch Sprechenden.

Wir danken Ihnen bereits jetzt für ihre mögliche und für uns wertvolle Teilnahme an unserer Studie.

9.3 Tabelle Ergebnisse

Variablen	Gruppe G		Gruppe A		Gruppenunterschied	
	Pretraining	Posttraining	Change (95% CI)	Pretraining	Posttraining	Mean difference (95% CI) ¹
Einfluss der muskulären Ermüdung						
SEBT Airex (Punkt)	-2.05	-7.28	5.24 (-8.44 to 18.90)	-5.08	-1.63	-3.45 (-9.72 to 2.82)
SEBT (Punkt)	-2.48	-3.92	-1.44 (-12.02 to 9.14)	-6.2	-0.86	5.34 (-3.16 to 13.84)
DBT (Punkt)	-0.01	-0.03	-0.02 (-0.07 to 0.04)	-0.02	-0.01	0.12 (-0.04 to 0.07)
CMJ (cm)	-2.44	-2.46	-0.02 (-2.84 to 2.80)	-1.5	-1.29	0.21 (-2.53 to 2.96)
Ergebnisse						
SEBT Airex unermüdet (Punkt)	346.65	376.49	29.84 (20.69 to 38.99)	344.93	367.43	22.50 (11.50 to 33.50)
SEBT unermüdet (Punkt)	373.66	398.06	24.40 (16.84 to 31.96)	374.19	390.97	16.78 (7.12 to 26.43)
SEBT Airex ermüdet (Punkt)	344.61	369.21	24.60 (14.44 to 34.77)	339.86	365.81	25.95 (13.20 to 38.70)
SEBT ermüdet (Punkt)	371.18	394	22.96 (13.07 to 32.86)	367.99	390	22.11 (14.01 to 30.22)
DBT unermüdet (Punkt)	0.11	0.04	-0.08 (-0.14 to -0.02)	0.15	0.05	-0.10 (-0.19 to -0.02)
DBT ermüdet (Punkt)	0.1	0.05	-0.04 (-0.06 to -0.03)	0.17	0.06	-0.11 (-0.21 to -0.01)
CMJ unermüdet (cm)	28.1	29.5	1.43 (-0.72 to 3.59)	25.6	28.2	2.63 (1.11 to 4.16)
CMJ ermüdet (cm)	25.6	27.1	1.42 (-0.33 to 3.16)	24.1	26.9	2.84 (0.86 to 4.83)
SJ (cm)	25.31	26.2	0.91 (-0.33 to 2.14)	24.58	27.1	2.55 (1.51 to 3.60)
Con-trex Knieext 60° sec (Nm)	218.2	229.2	10.93 (1.91 to 19.95)	206.6	222.7	16.07 (4.38 to 27.76)
Con-trex Knieext 360° sec (Watt/kg)	2.8	2.95	0.15 (0.04 to 0.25)	2.66	2.86	0.21 (0.09 to 0.32)
Con-trex Knieflex 60° sec (Nm)	127.5	135.36	7.86 (2.84 to 12.88)	138.43	150.36	11.93 (6.63 to 17.23)
Con-trex Knieflex 360° sec (WATT/kg)	2.43	2.56	0.13 (0.018 to 0.23)	2.3	2.46	0.16 (0.06 to 0.27)

¹ Negative Werten zugunsten von Gruppe A